

01; 04; 05

© 1992

ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦИИ РАЗРЯДНЫХ СТРУКТУР В ДИЭЛЕКТРИКАХ

В.Р. Кухта, В.В. Лопатин,
М.Д. Носков

Из многочисленных исследований разряда в газообразных, жидких и твердых диэлектриках известно, что развитие плазменных каналов происходит или в древовидной (дендритообразной), или в кустообразной форме. Последняя присуща большим межэлектродным промежуткам с резконеоднородным полем, образованным, например, острием и плоскостью и малым временем запаздывания зажигания разряда. Возможен также переход из кустообразной формы к древовидной в процессе развития разряда. Это ярко проявляется при варьировании условий разряда в жидкостях, например, в деионизованной воде [1], где дендрит обычно стартует из куста, рис. 1.

Количественно характеризовать форму стохастических разрядных структур и смоделировать развитие разряда можно с помощью понятий фрактальной геометрии [2-4], где каждой разрядной структуре соответствуют определенные значения фрактальной размерности D . В рамках предложенной в [3] и модифицированной в [4] фрактальной модели пробоя диэлектриков (по инициалам авторов названной *NPW*-моделью) вероятность роста разрядных структур из проводящих каналов пропорциональна локальной напряженности E в степени γ , где γ характеризует условия пробоя и среду. Причем повышение критической напряженности E_k , соответствующей началу роста разрядной структуры, приводит к снижению и уменьшению ветвления. *NPW*-модель неплохо описывает древовидную структуру, однако не объясняет экспериментально наблюдаемый переход кустообразной структуры в древовидную.

В настоящей работе мы рассматриваем двумерную дискретную модель роста структуры разряда на квадратной решетке. Структура разряда растет на одно ребро или диагональ решетки за один шаг. Вероятность роста пропорциональна значению локальной напряженности поля (разности потенциалов между соответствующими узлами, деленной на расстояние между узлами) в степени γ . В предлагаемой модели потенциал в узлах решетки складывается из прикладываемого потенциала внешнего U_B (ему соответствует поле E_B) и собственного потенциала растущих разрядных каналов U_C (поле E_C). Полное напряжение, приложенное к электроду, равно сумме ($U_B + U_C$). Внешний потенциал определяется граничными условиями и остается неизменным в процессе развития разряда. Собственный потенциал U_C определяется структурой разряда и граничными

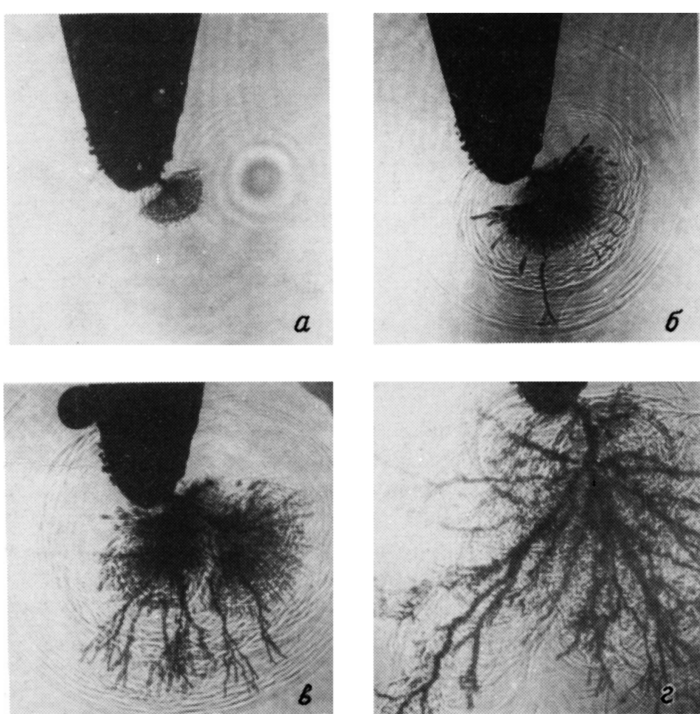


Рис. 1. Динамика развития разряда с положительного острия в воде. Прямоугольный импульс напряжения $U = 30$ кВ, радиус острия 250 мкм, интервал между кадрами -500 нс.

условиями и должен находиться после каждого шага роста структуры разряда. Поскольку значения потенциала в узлах решетки, не принадлежащих структуре разряда, удовлетворяют дискретному уравнению Лапласа, то они легко вычисляются с помощью стандартной релаксационной процедуры методом итераций. Граничные условия задавались потенциалами электродов и структуры разряда. Причем полагается, что все принадлежащие структуре разряда узлы имеют одно и то же значение потенциала, т.е. падением напряжения в разрядных каналах пренебрегалось, хотя структура разряда имела потенциал меньший, чем потенциал электрода. Компьютерное моделирование процесса роста структуры разряда осуществлялось согласно описанной модели для двух различных конфигураций электродов. В первом случае электроды моделировались коаксиальными цилиндрами с большим отношением радиусов $R_1 / R_2 \approx 100$. Во втором - плоскость с выступающим острием - плоскость, рис. 2. Разряд в обоих случаях начинался с электрода с малым радиусом кривизны. Рост структуры разряда моделировался при различных соотношениях U_B / U_C . При $U_B / U_C \geq 1.5$ в обеих геометриях наблюдается рост куста, рис. 2. При уменьшении соотношения потенциалов растут

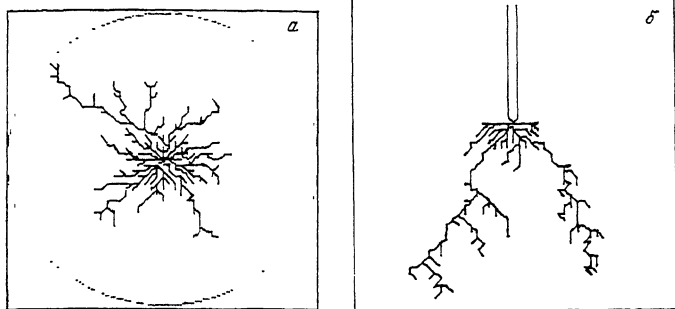


Рис. 2. Рост структуры разряда: а - поле коаксиальных цилиндров $R_1/R_2 = 100$, $U_g/U_c = 3$; б - электроды - плоскость с выступающим острием - плоскость, $U_g/U_c = 2.5$

вероятность развития древовидной формы без предшествующей кустообразной структуры. Кустообразная структура всегда плотно заполняет только область с высокой локальной E_B . Дальнейший рост структуры разряда приводит к образованию древовидных каналов, подобных наблюдаемым в экспериментах, рис. 1, 2, и тем, что получаются в *NPW*-модели. Рост структуры происходит до тех пор, пока не достигается противоположный электрод.

Таким образом, фрактальный подход позволяет адекватно описывать процесс развития разрядных структур в диэлектриках. Введение падения напряжения между электродом и разрядными каналами, несмотря на формализованность этого приема, позволило смоделировать экспериментально наблюдаемую трансформацию кустообразной формы структуры разряда в древовидную. Установленная связь вида структуры развивающихся разрядных каналов с соотношением напряженности поля на электроде и собственным полем разрядных каналов U_g/U_c может явиться базой для создания критерия формирования завершеного пробоя.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гаврилов И.М., Кухта В.Р., Лопатин В.В., Петров П.Г., Ушаков В.Я. // Изв. вузов. Физика. 1989. Т. 1. С. 88-92.
- [2] Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. New-York: W.H. Freeman. 1982. 468 p.
- [3] Niemeyer L., Pietronero L., Wiesmann H.J. // Phys. Rev. Lett. 1984. V. 52. P. 1033-1036.
- [4] Wiesmann H.J., Zeller H.R. // J. Appl. Phys. 1986. V. 60. P. 1770-1773.

Поступило в Редакцию
10 августа 1992 г.