

**БЕЗЭЛЕКТРОДНЫЕ И ПОСЛЕПРОБОЙНЫЕ
СТРИМЕРЫ В ВОДЕ**

С.М. Коробейников, д.ф.-м.н., А.В. Мелехов, к.т.н.,
В.Г. Посух****

***Новосибирский государственный технический уни-
верситет, Новосибирск, пр. К. Маркса, 20**

****Институт лазерной физики СО РАН,
пр.Лаврентьева, 13**

e-mail kor_ser_mir@ngs.ru

В работе [1] с помощью электрооптических измерений было показано, что модифицированные электроды позволяют повысить локальную напряженность поля в центре промежутка в 2-3 раза по сравнению со средней напряженностью поля. При этом, вблизи электродов формируются области объемного заряда, ослабляющие электрические поля у электродов. После пробоя промежутка в течение времени релаксации $t < \tau_p \approx \epsilon \cdot \epsilon_0 / \sigma$ (σ - проводимость слоя) конфигурация зарядов сохраняется. Эти два обстоятельства приводят как к появлению стримеров неэлектродного происхождения, так и послепробойных стримеров. Целью настоящей работы является изучение ионизационных явлений, обусловленных перераспределением напряженности электрического поля объемными зарядами.

Эксперименты проводились на импульсах напряжения с фронтом $\tau_f \approx 0.6$ мкс и амплитудой U до 200 кВ. Использовались сферические электроды диаметром 35 мм с зазором между ними $d = 3 \div 5$ мм. Вода с проводимостью $\sigma \approx 10^{-7}$ (Ом см) $^{-1}$ поступала в ячейку из замкнутого контура очистки. Регистрация послепробойных процессов осуществлялась теневым методом с использованием полупроводникового лазера с длиной волны $\lambda = 0.61$ мкм и длительностью импульса на полувысоте 3 нс. Фото-регистрация осуществлялась в режиме открытой диафрагмы [2].

На рис. 1,2. приведены снимки безэлектродных стримеров в начальной стадии и на более поздней стадии развития.

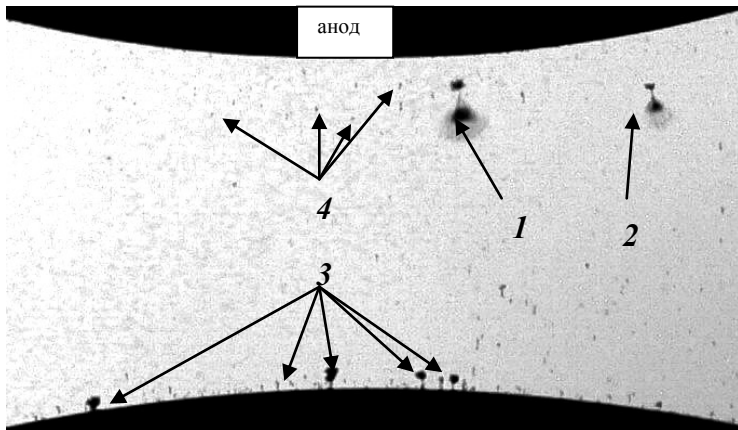


Рис. 1. Безэлектродные (1, 2) и катодные стримеры (3) в воде. Зазор $d=3$ мм, амплитуда импульса $U=150$ кВ. Темные точки (4) - микрочастицы.

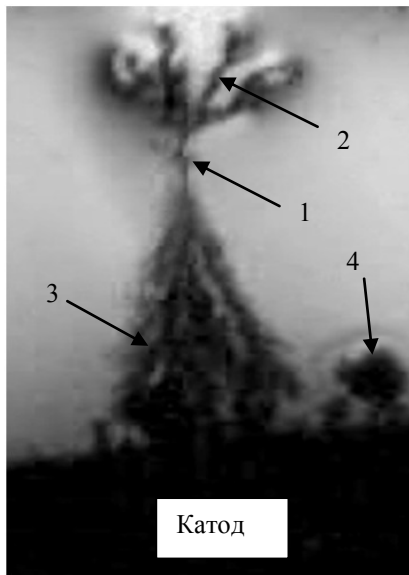


Рис.2.. Фрагмент межэлектродного промежутка с безэлектродным стримером при касании анодной части стримера катода. 1 – точка зарождения стримеров, 2 – катодная кустовидная структура, 3- анодный стример, 4 – обычный катодный стример. $U=164$ кВ, $d=4$ мм. Полная длина обоих стримеров 2.9 мм.

После пробоя промежутка ионизационные процессы не прекращаются. На рис. 3 приведен негатив керрограммы, зарегистрированной за ≈ 50 нс до пробоя (время пробоя - t_b , время экспозиции лазера - t_l). Светлый замкнутый овал соответствует

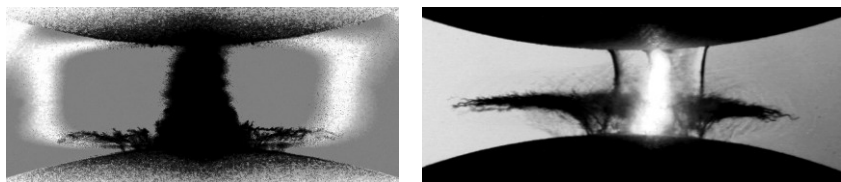


Рис. 3. а - негатив предпробойной керрограммы ($U = 214$ кВ, $d = 4$ мм, $t_b = 1.4$ мкс, $t_l = 1.35$ мкс); б - теньевая фотография послепробойных явлений. ($U=108$ кВ, $d = 3$ мм, $t_b = 1.0$ мкс, $t_l = 1.65$ мкс). Анод сверху.

средней по лучу напряженности поля $E \approx 510$ кВ/см; напряженность поля в центральной части $E \approx 620$ кВ/см, средняя напряженность поля в промежутке $E = U/d \approx 530$ кВ/см. Электрооптическая схема измерений была настроена на минимум пропускания света в отсутствие электрического поля, поэтому излучение вторичных ионизационных процессов после пробоя так же регистрировалось фотоаппаратом и накладывалось на картину керровских полос.

Для оценки скорости распространения радиального разряда применялся теневой метод (рис. 3.б). Анализ показал, что с учетом времен задержки между моментами пробоя и лазерного импульса, а также сопоставления с размером зоны ударной волны от разряда, скорость радиального распространения разряда существенно превышает скорость звука и составляет ≈ 10 км/с.

До пробоя проводящие слои ослабляют напряженность электрического поля вблизи поверхности электродов и увеличивают внутри промежутка, что приводит к повышению импульсной электрической прочности воды на больших межэлектродных зазорах. Вблизи катода формируется отрицательный заряд, а вблизи анода - положительный. После «мгновенной» закоротки межэлектродного промежутка за счет пробоя, заряд слоя сохраняется в течение времени $t \leq \tau_p \approx \epsilon \cdot \epsilon_0 / \sigma$, а распределение напряженности электрического поля в промежутке не исчезает, а принципиально меняется. На рис.4 качественно показано распределение напряженности электрического поля (а, б) и потенциала (с) вблизи электрода до и после пробоя. Расстояние z отсчитывается от электрода вглубь промежутка. При этом рассматривается область, непосредственно не прилегающая к каналу разряда.

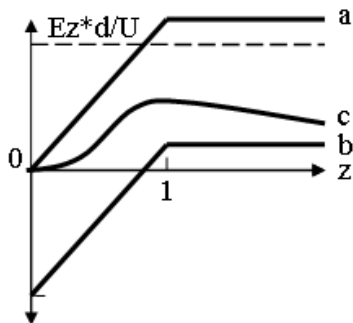


Рис.4. а – до пробоя, б, с – после пробоя

Из оценок следует, что там, где объемный заряд контактирует с каналом разряда (тонкий, хорошо проводящий цилиндр), поперечная напряженность поля достигает максимального значения., что приводит к иницированию поперечных пробоев. Можно сказать, что поперечный разряд должен распространяться в течение времени $\approx \tau_p$ по всей зоне, где присутствует заряд. Вследствие эффекта полярности в резко неоднородных полях «послеразрядный» разряд наиболее вероятен вблизи катода, там, где канал разряда, становится временным «анодом». В этом случае разряд распространяется со сверхзвуковой скоростью. Вблизи анода канал является временным «катодом», скорость его развития дозвуковая и на фоне ударной волны его не видно.

[1] Коробейников С.М., Мелехов А.В., Посух В.Г. Электрооптические измерения напряженности электрического поля в воде с приэлектродными проводящими слоями. ДАН.- 2010. Т. 433. № 6. С. 753-755.

[2] Korobeynikov S.M., Melekhov A.V., Posukh V.G., Ponomarenko A.G., Boyarintsev E.L., Antonov. V.M. Optical study of prebreakdown cathode processes in deionized water // IEEE Trans. Dielect. Elect. Insul. – 2009. - Vol. 16. - No. 2. –P. 504-508.

Nonelectrode and Postbreakdown Streamers in Water

Korobeynikov S.M., Melekhov A.V., Posukh V.G.

The results of electrooptical study of nonelectrode and postbreakdown streamers in water are presented. Electrodes screening with the help of preliminary prepared conductive layers close to electrode surface is used. The microparticle initiates simultaneously both fast cathode directed and slow anode directed streamers. Electric field past breakdown don't disappeared. Moreover diametrical field close breakdown channel could get considerable values that provide diametrical discharge channel initiation and propagation across space charge zone.