

УДК 537.528

СКОЛЬЗЯЩИЙ РАЗРЯД ПО ПОВЕРХНОСТИ ЖИДКОГО ДИЭЛЕКТРИКА

В. К. Башкин, Г. П. Кузьмин, И. М. Минаев

Определены условия зажигания скользящего разряда по границе раздела тонкого слоя легковоспламеняющейся диэлектрической жидкости и воздуха. При частоте следования разряда до 1000 Гц при достаточной энергии, вкладываемой в разряд, осуществляется взрывной механизм горения паров жидкости.

Скользящий по поверхности диэлектрика разряд, благодаря своим уникальным свойствам, а именно: возможности при умеренных напряжениях создавать плазменные поверхности большой площади [1] с излучательной способностью в широкой области спектра вплоть до мягкого рентгена [2], нашел широкое применение в лазерной физике в качестве эффективного источника ультрафиолетового излучения для предыонизации газовых лазеров [3] и в качестве плазменных электродов [4]. Плазма скользящего разряда на границе твердого и газообразного диэлектриков с успехом используется в качестве активной среды газовых лазеров на азоте [5] и в эксимерных лазерах [6]. При этом, за счет малой толщины слоя плазмы (~ 1 мм) и возможности эффективного отвода тепла через металлический заземленный электрод возможна работа лазеров с большой частотой повторения импульсов генерации вплоть до нескольких килогерц без прокачки газовой смеси через разрядную камеру.

Распространение скользящего разряда возможно также по границе раздела твердых диэлектриков с разной диэлектрической проницаемостью. В работе [7] показано, что скользящий разряд при напряжении на иницилирующем электроде 1–3 кВ легко зажигается по поверхности красочного покрытия на несущих поверхностях летательных аппаратов без разрушения покрытия. При этом, в случае обмерзания поверхности, происходит эффективное скалывание льда за счет распространения разряда по границе

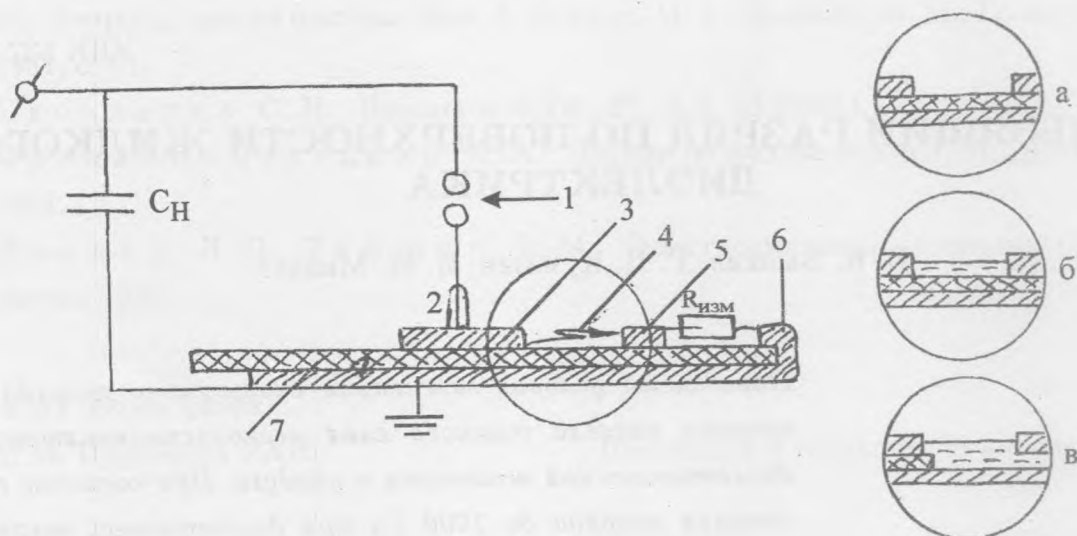


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – коммутатор (разрядник), 2 – подводящие высоковольтные контакты, 3 – иницирующий электрод, 4 – скользящий разряд, 5 – приемный электрод, 6 – заземленная металлическая подложка, 7 – диэлектрик. $C_H = 1\text{ пф}$, накопительная емкость. Напряжение зарядки накопительной емкости $U_3 = 15\text{ кВ}$. $R_{изм}$ – сопротивление, с помощью которого снимался ток скользящего разряда по поверхности масла через разрядный промежуток. а, б, в – см. на рис. 2.

краска-лед, что может найти практическое применение в качестве антиобледенительных систем, например, в авиации.

Как правило, скользящий по поверхности диэлектрика разряд исследуется и активно применяется при зажигании его по границе твердого и газообразного диэлектриков. Однако с самого начала его изучения и исследования в работах П. Н. Дашука была показана возможность зажигания такого разряда по поверхности слоя диэлектрической жидкости на металлической подложке [8]. Такой вид скользящего разряда предполагалось использовать для эффективного съема тепла из области разряда в целях повышения ресурсных характеристик разрядных устройств [9]. Скользящий разряд по поверхности водяного слоя предлагалось использовать для бактерицидной и химической очистки воды в электротехнических установках [10].

В нашей работе мы попытались определить возможность и условия зажигания скользящего разряда по поверхности легковоспламеняющихся диэлектрических жидкостей,

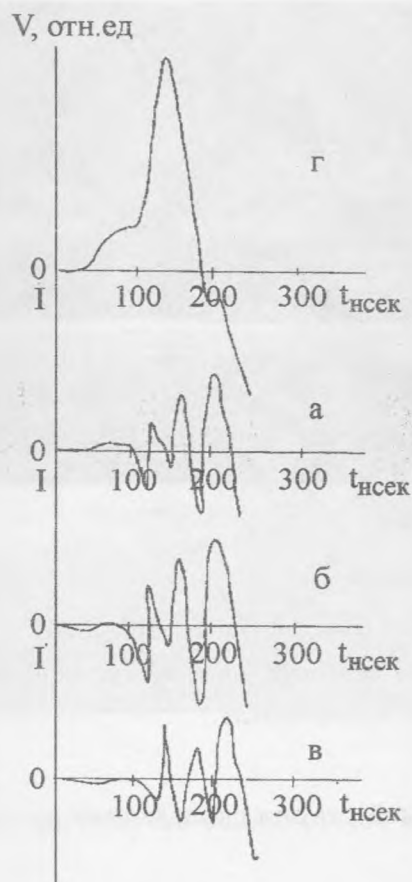


Рис. 2. Осциллограммы напряжения (ε) на иницирующей электроде и тока через $R_{изм}$ для трех случаев: а – слой стекла толщиной 1.8 мм, б – слой стекла с нанесенным на его поверхность слоем диэлектрической жидкости, в – слой диэлектрической жидкости толщиной 2 мм.

таких как масло, керосин, бензин с перспективой использования этого типа разряда для инициирования детонационных процессов в топливных смесях.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. В начальной, незавершенной стадии скользящий разряд поддерживается током смещения заряда емкости, образуемой распространяющейся по поверхности диэлектрика (жидкости) плазмой и металлической заземленной подложкой. В завершенной стадии плазма разряда достигает приемного электрода и начинается сильноточный разряд иницирующей электрод – приемный электрод. Стандартная конфигурация электродов скользящего разряда имеет следующие особенности. В разрыв заземленного электрода, который служит металлической подложкой для слоя диэлектрика, помещено малое сопротивление $R_{изм}$ для

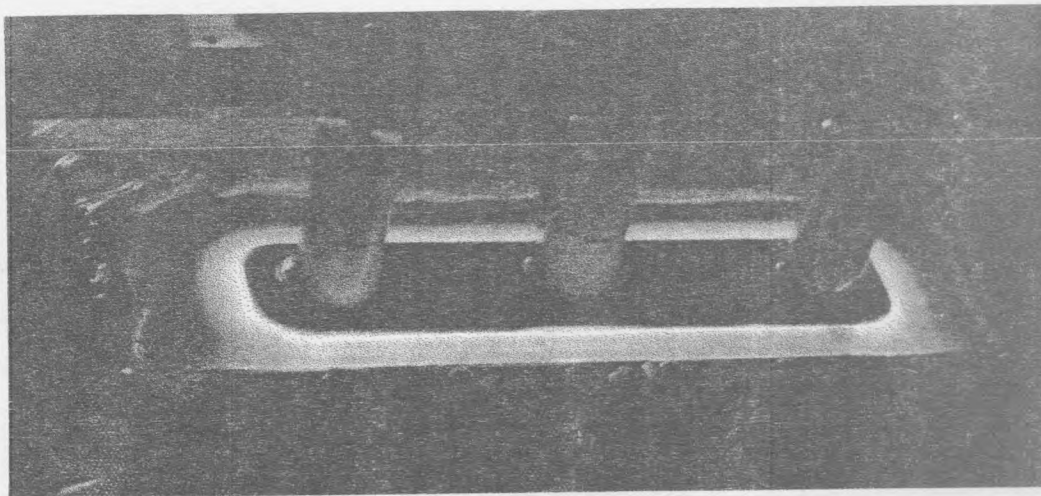


Рис. 3. Скользящий разряд по поверхности масла, $f = 1000$ Гц. Сверху видны три подводящих высоковольтных контакта, в середине – инициирующий электрод. Приемный электрод ограничивает разряд со стороны наблюдателя.

определения наличия завершенной стадии скользящего разряда по поверхности жидкого диэлектрика.

Это вызвано тем, что в данном случае изначально предполагалось, что будет трудно визуально зафиксировать наличие именно завершеного скользящего разряда по поверхности жидкости, так как возможен пробой тонкого слоя жидкости с переднего фронта незавершенной стадии скользящего разряда на заземленную подложку.

Второй особенностью является возможность менять вид диэлектрика для наблюдения сравнительных характеристик разряда. На рис. 1 в кружках представлены следующие разновидности диэлектрика в разрядном промежутке: а – слой стекла толщиной 1.8 мм, б – слой стекла с нанесенным на его поверхность слоем жидкости и в – слой диэлектрической жидкости толщиной 1–2 мм в разрядном промежутке.

На рис. 2 представлены осциллограммы напряжения на инициирующем электроде и тока через $R_{изм}$ для всех трех случаев при напряжении на накопительном конденсаторе, равном 15 кВ. Из сравнения этих осциллограмм видно, что во всех трех случаях имеет место завершенная стадия разряда с примерно одинаковыми временными характеристиками. Начальный отрицательный выброс тока соответствует процессу зарядки емкости, образованной высоковольтным электродом и заземленной подложкой с диэлек-

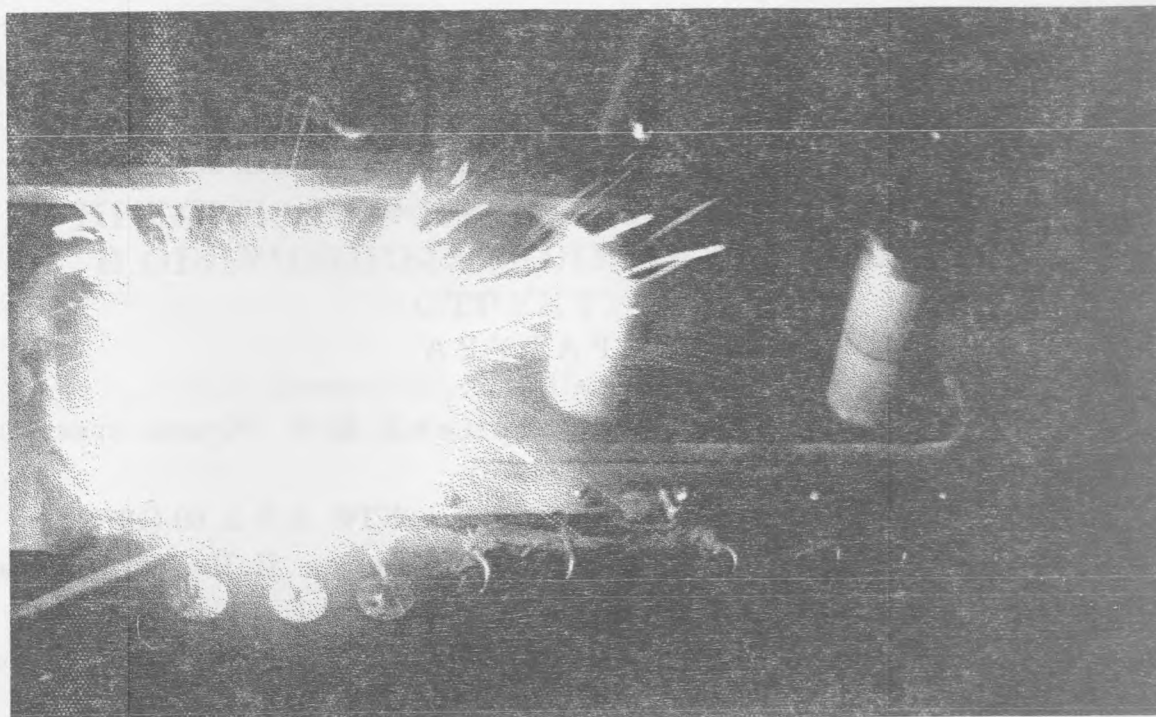


Рис. 4. Взрыв паров масла при наличии сильноточной стадии скользящего разряда.

трической прослойкой, т.е. току смещения. Видно, что в случае с диэлектрическим слоем, образованном только маслом без стеклянной подложки (осциллограмма (в)), ток зарядки несколько меньше, что и следовало ожидать, т.к. образующаяся в этом случае емкость меньше, чем в случаях а) и б).

На фотографии (рис. 3) представлен характерный вид разряда по поверхности масла при частоте следования импульсов напряжения 1 кГц . Видно, что незавершенная стадия разряда имеет распространение во все стороны от инициирующего электрода и размер области разряда соответствует длине разрядного промежутка для завершенной стадии. Этот факт является следствием того, что при замыкании разрядного промежутка и начале сильноточной стадии разряда происходит резкое падение напряжения на инициирующем электроде и разряд перестает распространяться в тех направлениях, где нет присмного электрода.

На рис. 4 представлена фотография процесса взрыва паров масла при наличии сильноточной стадии развития скользящего разряда.

Таким образом показано, что скользящий разряд возможно осуществить по поверх-

ности тонкого (примерно 1 мм) слоя диэлектрической жидкости без наличия электрически прочной твердой диэлектрической подложки. При достаточной энергии, вкладываемой в разряд, осуществляется взрывной механизм горения паров горючей жидкости, что может быть использовано для инициирования режима горения или детонации рабочей смеси в камере сгорания различных типов двигателей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Андреев С. И., Зобов Е. А., Сидоров А. Н. Журнал прикладной механики и технической физики, N 3, 38 (1978).
- [2] Дашук П. Н., Кулаков С. Л. Письма в ЖТФ, 5, N 2, 69 (1979).
- [3] Андреев С. И., Белоусова И. М., Дашук П. Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 21, вып. 7, 424 (1975).
- [4] Андреев С. И., Белоусова И. М., Дашук П. Н. и др. Квантовая электроника, 3, N 8, 1721 (1976).
- [5] Брынзалов П. П., Зикрин Б. О., Карлов Н. В. и др. Письма в ЖТФ, 4, вып. 10, 946 (1988).
- [6] Bashkin V. and Treshchalo v A. "High repetition rate excimer laser directly pumped by a sliding discharge", In: Technical Digest of Conference on Lasers and Electro-Optics-Europe (CLEO/EUROPE'98), Glasgow, Scotland, United Kingdom, Sept. 14-18, 1998.
- [7] Башкин В. К., Кузьмин Г. П., Минаев И. М. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 8, 41 (2003).
- [8] Дашук П. Н. Скользящий разряд по поверхности диэлектрика и его применение при создании электрофизических устройств. Тез. докл. 2 Всес. совещ. по физике электрического пробоя газов. Тарту, 1984, с. 58.
- [9] Журавлев О. А., Некрасов В. В., Шорин В. П. Исследование процессов формирования плазменных электродов, Самара, НПО "Импульс", 1997, с. 109.
- [10] Бродская Б. Х. Химия высоких энергий, 16, N 5, 458 (1982).