

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 533.9:621.3

О.А. Журавлев, А.В. Ивченко, Е.И. Еремин

*Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет), Россия, 443086, г. Самара,
Московское шоссе 34 E-mail: fgri@yandex.ru*

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ГАЗА В ПЕРИФЕРИЙНОЙ ОБЛАСТИ САМООГРАНИЧЕННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО РАЗРЯДА

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты применения метода лазерного «ножа» для визуализации процессов взаимодействия формируемого самоограниченным поверхностным разрядом (СПР) единого газового потока с подпитывающими его потоками окружающего воздуха. Полученные результаты можно рассматривать как развитие исследований по разработке средств управления характеристиками приповерхностных слоев газа.

**МЕТОД ЛАЗЕРНОГО НОЖА, САМООГРАНИЧЕННЫЙ ПОВЕРХНОСТНЫЙ РАЗРЯД,
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВЕТЕР, ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ**

ВВЕДЕНИЕ

Рассматриваемая форма газового разряда возникает на поверхности высокоомной диэлектрической подложки с разрядного электрода, выполненного в виде двух параллельных электрически соединенных полос, подключенных к источнику переменного напряжения с амплитудой до 10 кВ и частотой 1-10 кГц. Разряд поддерживается за счет тока смещения, протекающего через диэлектрический слой между разрядным электродом и иницилирующим электродом, расположенным на обратной стороне диэлектрической подложки. Отличительной особенностью СПР является наличие темновой зоны в средней части промежутка между полосами разрядного электрода, с которой связывается выделение основной части энергии разряда [1], возможность управления спектром излучения [2], а также наличие электродинамического механизма получения суммарного газового потока, ориентированного перпендикулярно поверхности подложки [3].

В настоящее время не существует надежной физической модели развития СПР [4]. Поэтому параллельно с прикладными исследованиями, например, по применению СПР для управления состоянием пограничного слоя на обтекаемой поверхности [5] проводится экспериментальная наработка физических картин формирования и протекания СПР [6].

Проблемность исследований связана с тем, что газовая среда периферийных потоков СПР несущественно отличается по составу, температуре и давлению от окружающего воздуха. Поэтому здесь известные теневые и интерференционные методы исследования фазовых объектов становятся малоинформативными [7]. С другой стороны, применение одиночной полосы разрядного электрода обеспечивает возбуждение формируемого разрядом газового потока лишь в приповерхностной области диэлектрической подложки. Это снижает наглядность представления исследуемых процессов.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И РЕЗУЛЬТАТЫ

Для возбуждения самоограниченного разряда использовалась электродная система, состоящая из двух параллельно включенных полос фольговых электродов толщиной 0,1 мм и протяженностью 80 мм, расположенных на поверхности сапфировой подложки толщиной 1 мм на расстоянии 7 мм. Возбуждение разряда только на обращенных друг к другу рабочих кромках обеспечивалось за счет ограничения ширины заземленного индуцирующего электрода, перекрывающего расстояние между разрядными электродами на 2 мм (на сторону). Исследуемая электродная система размещалась на диэлектрическом основании шириной 50 мм, которое, в свою очередь, закреплялось на штативе с возможностью регулирования расстояния от поверхности стола. Разряд возбуждался от источника переменного напряжения с амплитудой 5 кВ и частотой 8 кГц.

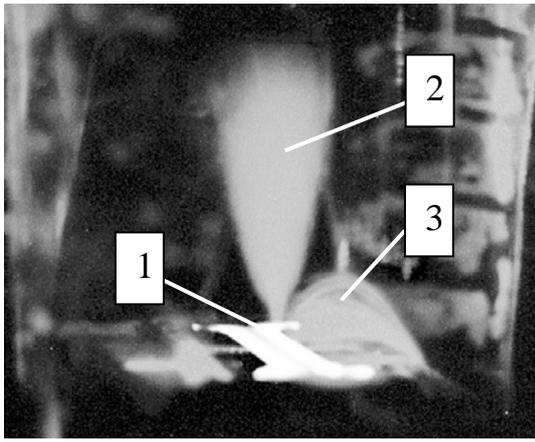


Рис 1. Шлиренграмма структуры потоков, нагретого газа в промежутке между полосами СПР (кратность увеличения 5^x)

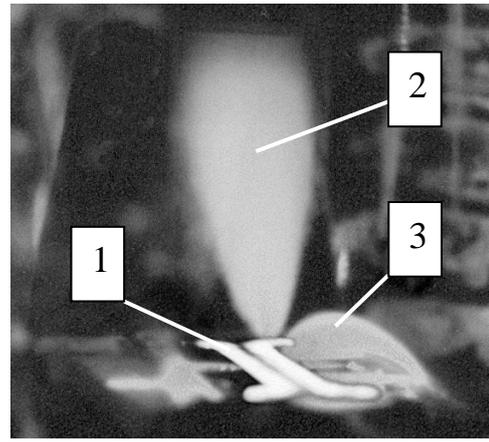
В работе применялась малоразмерная система лазерного «ножа», созданная на основе полупроводникового лазера с мощностью излучения 5 мВт на длине волны 0,6 мкм. Для визуализации возбуждаемых разрядом газовых потоков использовался генератор дыма с локализованной подачей аэрозолей у торца диэлектрического основания, обращенного к лазерному источнику. Такой «удаленный» способ введения высокодисперсных визуализирующих частиц затруднял попадание дыма непосредственно в область плазмы. Размещение фоторегистратора по ходу лазерного излучения было обосновано асимметрией индикатрисы рассеянного излучения на применявшемся дымовом аэрозоле. Толщина «ножа» в области исследуемых потоков составляла 1-1,5 мм, что соответствовало режиму регистрации рассеянного излучения от совокупности частиц. Визуализация структуры потоков здесь основана на том, что излучение лазера тем интенсивнее рассеивается частицами, чем больше их концентрация.

На рис. 2 а, б представлен характерный вид формируемых на поверхности диэлектрической подложки полос свечения разряда 1, а также структуры возбуждаемых разрядом потоков – основного 2 (типа электрический ветер) и периферийного 3, поступающего в область разряда с боковой стороны.

На рис.1 приведен характерный вид шлиренграммы восходящих тепловых потоков газа СПР. Выделенная структура определяет лишь внешнюю границу формируемого разрядом единого электро-термогазодинамического потока [3-5]. Визуализация скоростной составляющей потока возможно за счет введения в газовую среду светорассеивающих частиц. При этом необходимо ограничивать область введения частиц для сведения к минимуму влияния аэрозолей на процессы поверхностного разряда.



а)



б)

Рис. 2. Характерный вид дымовой структуры формируемых разрядом потоков: 1 – полосы свечения разряда; 2 – факел основного потока; 3 – структура периферийного потока

Из рис. 2, видно, что истечение потока 2 происходит непосредственно из темновой зоны разряда. Отходящие массы газа замещаются приточным периферийным потоком 3, который возбуждается за счет эжекционных свойств поверхностного разряда 1. Анализируя рис.2 а,б, можно выделить по высоте факела 2 несколько характерных зон. В первой зоне, которая наиболее приближена к разряду, угол раскрытия факела 2 и полнота его заполнения частицами зависят от величины расхода периферийного потока 3. Изменяя время регистрации, было показано, что визуализации факела 2 предшествовал процесс формирования дымовой структуры периферийного потока 3. Частицы потока 3 поступают в область разряда 1, где приобретают заряд и ускоряются во внешнем электрическом поле, формируя распространяющийся от разряда факелообразный поток 2.

При затягивании процесса выхода двухфазного потока 3 в область разряда 1 характерным является визуализация структуры потока 2 не с начального участка (см. рис. 2а, б), а с момента контакта потоков 2 и 3 (рис. 3). При этом частицы аэрозоля будут приобретать заряд непосредственно в области формирования потока 2. Высокий уровень концентрации заряженных частиц газа в приосевой области СПР подтверждается результатами экспериментов с самовозбуждением коронного разряда 3 на заземленном остром электроде (рис.4).

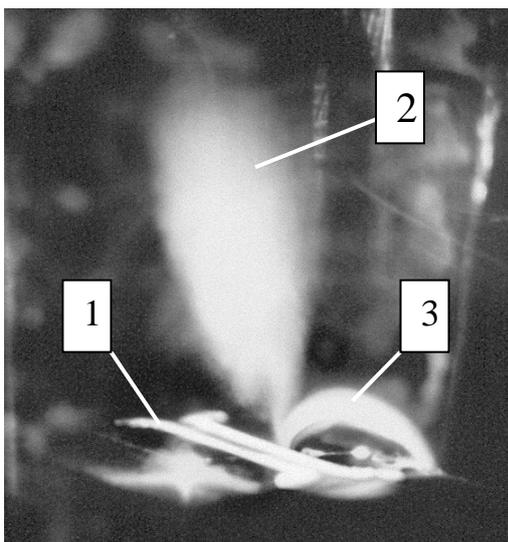


Рис. 3. Изменение структуры формируемого разрядом 1 потока 2 при ограничении концентрации частиц дыма в периферийном потоке 3

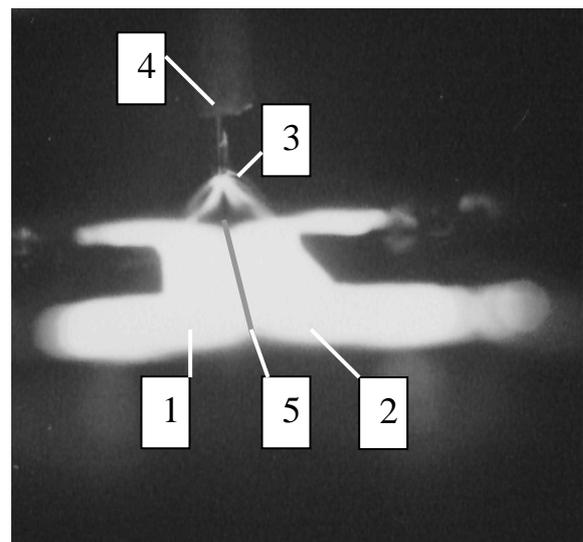


Рис. 4. Общий вид свечения полос 1, 2 двух поверхностных разрядов с самовозбуждением коронного разряда 3 на дополнительном заземленном электроде 4 над темновой полосой 5

Выполненные исследования показывают, что выделяющаяся энергия СПР может найти применение в плазменной аэродинамике при создании активных средств управления обтеканием тел в потоке газа. Возбуждаемый в темновой зоне разряда поток газа, ориентированный от поверхности подложки (см. рис.2.3), обеспечивает физическое моделирование процессов вдува газа в пограничный слой. При этом вдув производится без перфорации поверхности обтекаемого тела.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Гидрогазодинамика СПР обусловлена эжекционными свойствами поверхностных разрядов, где поступающие из периферии молекулы газа приобретают заряд и ускоряются во внешнем электрическом поле.
2. Формируемый поток электрического ветра имеет малую величину температурных градиентов для визуализации традиционными прямотеневым и теневым методами.
3. Истечение факела электрического ветра происходит непосредственно из области темновой полосы СПР.
4. Помещение электродной системы СПР в ограниченные стенками объемы должно приводить к формированию замкнутой структуры потока газа, что может оказывать влияние на эффективность процессов развития поверхностных разрядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Исследования** процессов формирования и протекания скользящего разряда / В.Ю. Баранов, В.М. Борисов, Ф.И. Высикайло и др. // М.: Препринт ИАЭ-3472/7, 1981.-51 с.
2. **Калинин А.В., Козлов М.В., Панюшкин В.В.** Экспериментальное исследование характеристик высокочастотного поверхностного разряда // Известия АН: Энергетика, 1993, №4.- С. 45-51.
3. **Журавлев О.А., Ивченко А.В.** Визуализация газовых потоков, возбуждаемых частотным поверхностным разрядом в воздухе атмосферного давления // Материалы всеросс. н.-т. конференции «ФНТП-2007», Петрозаводск: Изд-во Петр. ГУ, 2007, Т.1.- С. 82-86.
4. **Аэродинамические** эффекты поверхностного барьерного разряда в воздухе и особенности его моделирования / А.М. Кончаков, В.М. Кривцов, С.Б. Леонов и др. // М.: Препринт ОИВТ РАН №2-491, 2006.- 56 с.
5. **Post M., Corke T.** Separation Control on High Angle of Attack Airfoil Using Plasma Actuators // AIAA Journal, 2004, Vol.42, №11.-P.2177-2184.
6. **Процессы** формирования скользящего разряда на диэлектрических подложках с потенциальным барьером / В.П. Шорин, О.А. Журавлев, А.И. Федосов, В.П. Марков.- М.: Изд-во «Логос», 2000. – 152 с.
7. **Результаты** исследования структуры потоков незавершенного поверхностного разряда / Е.В. Шахматов, О.А. Журавлев, А.В. Ивченко и др. // Труды X междунар. н.-т. конференции «Оптические методы исследования потоков», М.: Изд. дом МЭИ, 2009. – С.216-219.

O.A. Zhuravliov, A.V. Ivchenko, E.I. Eremin

*Samara State Aerospace University named by S.P. Koroliov (national research university),
Russia 443086, Samara, Moscow shosse 34, E-mail: fgrrt@yandex.ru*

**PROCESSES VISUALIZATION OF GAS TRANSFER IN PERIPHERAL AREA OF
COLLIDING SURFACE DISCHARGE**

The paper presents results of the application of laser sheet method to visualize the interaction of gas stream exited by colliding surface discharge with surrounding air. These results may be viewed as the development of research on devices creation for flow control in near-wall region.

**LASER SHEET METHOD, COLLIDING SURFACE DISCHARGE, ELECTRICAL WIND,
PROCESSES VISUALIZATION**