

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Л. Д. Горшкова, В. А. Горшков, М. И. Демидов, И. В. Подмошенский, Влияние стока плазмы на характеристики  $H$ -прижатого разряда, *ТВТ*, 1974, том 12, выпуск 2, 248–251

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 44.210.149.218

9 ноября 2024 г., 20:58:20



УДК 533.9.15

## ВЛИЯНИЕ СТОКА ПЛАЗМЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ И-ПРИЖАТОГО РАЗРЯДА

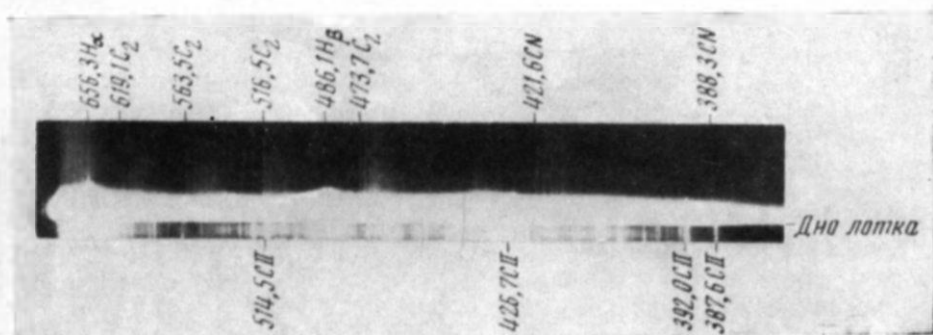
*Л. Д. Горшкова, В. А. Гориков, М. И. Демидов,  
И. В. Подмошенский*

Рассмотрен вопрос о влиянии стока плазмы на характеристики *И*-прижатого разряда. Показано, что дополнительный сток уменьшает высоту плазменного слоя, устраняет струйное истечение в газовую низкотемпературную оболочку над разрядом и делает резкой границу раздела между ней и плазменным слоем. С боковым стоком при почти неизменном давлении возрастают в полтора раза падение напряжения на столбе разряда, в три раза вводимая удельная мощность и на 25% температура плазмы.

В *И*-прижатом разряде плазма образуется из материала лотка при его испарении под воздействием тепла, передаваемого от разряда к стенке, причем, как показал опыт, количество испаренного материала растет с увеличением вводимой в разряд мощности и длительности импульса [1]. Поэтому при отсутствии или малой площади истечения плазмы из лотка наблюдается накопление ее в зоне разряда и увеличение высоты плазменного слоя. В этом случае плазма из области подперомоторного сжатия проникает в газовую оболочку над разрядом в виде плазменных струй. Одной из примечательных особенностей *И*-прижатого разряда является его способность генерировать равномерный излучающий плазменный слой на большой поверхности. При этом он может использоваться как яркий источник для облучения окружающего газа. Выброс охлажденных плазменных струй в зону над разрядом является поэтому неблагоприятным фактором ввиду экранировки яркого излучения и ввиду загрязнения и газодинамического возмущения облучаемой этим источником среды. В предлагаемой работе рассматривается вопрос об устранении этих факторов.

Эксперимент был поставлен на установке, описанной в [2]. Плазменный поток в зоне разряда и над ним регулировался введенным дополнительного стока плазмы. Для этого было изготовлено три вида лотков из оргстекла прямоугольного профиля длиной 80 и шириной 10 мм, в которых для стока плазмы, кроме открытых торцов, проделывалось по пять каналов диаметром 8 мм в боковых стенках. Центры осей каналов располагались на высоте 4, 8 и 11 мм от дна лотков, причем противолежащие каналы располагались несососно для более равномерного стока и выравнивания поперечного сечения разряда.

Развитие разряда и поведение его в лотке наблюдалось скоростным фоторегистратором СФР-2М в режиме лупы времени. Мгновенные фотографии спектров с экспозицией ~250 мксек и скоростные развертки спектров обеспечивались скоростным спектрохромографом СП-452 и спектрографом со стеклянной оптикой. Напряжение на разряде измерялось зондами, вво-



Спектры излучения плазмы в лотке из оргстекла. На щель спектрографа проецируется уменьшенное в два раза изображение лотка. Поджиг со скользящим разрядом

К ст. Захарова и др. к стр. 254

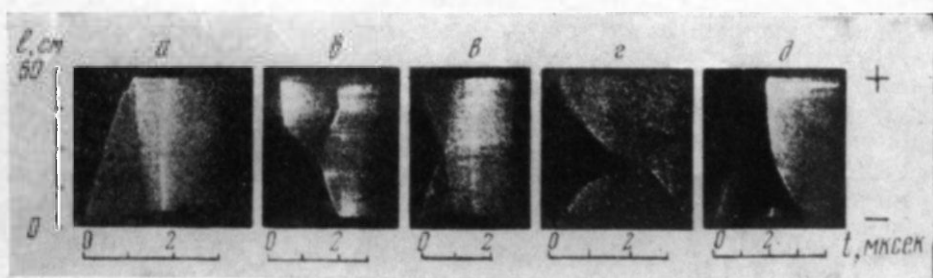


Рис. 2. ЭОП-граммы динамики развития стримеров при различных условиях:

а —  $U=11$  кВ; б — 13 кВ; в — 11 кВ; г — 9 кВ; д — 20,6 кВ

димыми в струи плазмы, а также двухлучевым осциллографом С1-42, на котором одновременно регистрировалось напряжение с безындукционного шунта, применяемого для измерения тока разряда. Эти исследования показали, что введение дополнительного стока плазмы существенно видоизменяет характеристики  $H$ -прижатого разряда, особенно, если сток происходит на небольшой высоте от дна лотка. Наличие каналов на высоте 8 мм изменило характер разряда весьма незначительно, а на высоте 11 мм практически не отразилось на разряде. Поэтому вариант лотка с каналами на высоте 4 мм изучен наиболее полно. Длительность импульса с почти плоской вершиной тока была  $\sim 800$  мксек и вполне достаточна для достижения квазистационарного режима.

Как показали СФР-граммы, снятые по направлению тока разряда (вдоль лотка) и по направлению  $H$  (перпендикулярно лотку), при наличии стока верхняя граница плазмы становится более плоской, причем высота плазменного слоя уменьшается от 16–18 до 7 мм. Такая высота сохраняется в течение плоской части импульса тока и лишь затем уменьшается в соответствии с уменьшением амплитуды тока. Наблюдалось также уменьшение высоты сечения канала разряда (от величины  $\geq 10$  мм до 5 мм), что наглядно видно на медных эрозионных экранах, которые устанавливались посередине лотка перпендикулярно току разряда.

Спектр излучения, полученный при съемке вдоль оси разряда, качественно подтверждая данные по геометрии разряда из СФР-грамм, отличается меньшей высотой непрерывного спектра, четкой границей перехода от яркой плазменной зоны канала разряда к относительно холодной оболочке над ней, а также появлением в интенсивной зоне канала разряда линий  $СII$  ( $\lambda = 387,6; 392,0; 426,7; 513,3; 514,3$  нм и др.) (см. рисунок). Причем, если без стока плазмы линии водорода  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  просматривались на высоте 20–30 мм и более от дна лотка, то с введением стока линия  $H_\alpha$  слабо заметна, а линии  $H_\beta$  и  $H_\gamma$  совсем не наблюдаются над зоной яркого излучения ( $h = 7$  мм). С введением стока температура плазмы изменялась с 16 000 до 20 000° К. Как и ранее, температура измерялась по насыщенной интенсивности линии  $H_\alpha$ . Соответствующую картину наблюдали и при осциллографировании напряжения на столбе разряда, а именно: введение стока привело приблизительно к полуторакратному росту напряжения на разряде (650–900 в). Осциллограммы же тока свидетельствуют, что величина разрядного тока изменилась незначительно (6500–6000 а). Следовательно, в двух сравниваемых случаях давление плазмы на дно лотка, определяемое пондеромоторным давлением  $P_{\text{пнд}} \sim I \cdot H / b$ , остается почти неизменным. В этом  $H$ -прижатый разряд отличается от таких газоразрядных источников, как капиллярный разряд с испаряемой стенкой, где истечение плазмы из капилляра при изменении его длины регулирует давление в нем [3].

Увеличение падения напряжения с возрастанием стока, очевидно, вызвано увеличением сопротивления столба разряда за счет значительного уменьшения сечения канала разряда, несмотря на небольшое увеличение проводимости плазмы вследствие некоторого роста ее температуры. Рост же температуры в свою очередь обязан примерно трехкратному увеличению подводимой удельной мощности.

Следует отметить, что с увеличением длины лотка при отсутствии бокового стока плазмы роль стока через открытые торцы лотка становится менее значимой. Плазма из центральных зон выносится в основном не через торцы, а через оболочку над разрядом, причем высота плазменного слоя в центре лотка увеличивается. В целом объем плазменного слоя определяется соотношением скорости образования плазмы из испаренного материала подложки и скорости его уноса. Поскольку в  $H$ -прижатом разряде плазма генерируется лучистым нагревом окружающего газа [4], естественно, что занимаемый объем в первую очередь будет определяться соотношением площадей испарения и истечения. Введение бокового стока

плазмы позволяет не только регулировать высоту, но и выравнять фронт плазменного слоя. Исходя из квазистационарности режима, можно ожидать, что подобное влияние стока будет наблюдаться и при значительно больших размерах лотка и длительности импульса.

Режим стока в данной работе не был равномерным. Большой диаметр каналов и значительные расстояния между соседними каналами внесли некоторую периодическую неоднородность в плазменный фронт по длине лотка. Но эти колебания в высоте плазменного слоя значительно меньше той разницы, которая наблюдается между высотами на торцах и в середине лотка без бокового стока плазмы.

Интересные явления наблюдались в предельном случае, когда *H*-прижатый разряд был на большой поверхности без обычного ограничения капала разряда боковыми стенками. Как и в варианте со стоком, разряд вследствие высокого градиента давления распространился по поверхности ( $80 \times 85$ ) мм<sup>2</sup> и в течение всей длительности импульса не проявил резко выраженных нестабильностей. Хотя поверхность плазменного слоя в этом случае не была повсеместно ровной, высота его в среднем оказалась достаточно малой (1–3) мм. Образующаяся плазма, имея дальний сток на границе разряда, прорывалась перпендикулярно к поверхности вверх в виде отдельных (в данном опыте двух) фонтанирующих струй. Как показала скоростная киносъемка, местоположение этих струй определялось в начале импульса и оставалось постоянным в дальнейшем. Очевидных известных видов неустойчивостей (перетяжек, изгибов и т. д.) не наблюдалось. Поэтому и такой вид *H*-прижатого разряда при определенных его параметрах может рассматриваться как стабильный. Спектр излучения разряда был линейчатый с очень слабым непрерывным фоном в виде узкой (по высоте) полоски. Слабая интенсивность линий водорода и отсутствие линий *СII* свидетельствуют о невысокой температуре этого разряда. Вследствие большой ширины разряда падение напряжения на нем оказалось значительно меньшим, чем со стоком и близким к напряжению в варианте без стока плазмы в лотке.

В данной работе было предотвращено загрязнение плазмы *H*-прижатого разряда со стороны проволочки, применяемой для иницирования разряда, что является нежелательным явлением. Для этого использовалась иная схема организации пробоя разрядного промежутка, в основу которой был положен скользящий по поверхности дна лотка разряд [5]. Этот вид разряда требует более высокого напряжения, поэтому схема поджига была также видоизменена, что позволило увеличить напряжение поджигающего импульса с 40 до 120 кВ и при атмосферном давлении в воздухе свободно пробивать промежутки до 90 мм. При этом спектр, полученный при поджиге со скользящим разрядом и с введением стока плазмы через боковые стенки лотка, действительно характеризовался наличием только линейных элементов, входящих в состав материала лотка — оргстекла  $C_3H_4O_2$ . Следует обратить внимание и на характер спектра в оболочке над каналом разряда: В этом слабоинтенсивном спектре наблюдаются в основном молекулярные полосы  $CN$ ,  $C_2$ ,  $CaO$  и линии атомов  $Ca$ ,  $C$  с низкими потенциалами возбуждения. Последнее обстоятельство свидетельствует о сравнительно низкой ( $T \sim 5000^\circ K$ ) дуговой температуре этой зоны и довольно резком примерно трехкратном температурном скачке на границе раздела оболочки и канала разряда.

Таким образом, показано, что *H*-прижатый разряд может быть отнесен к числу устойчивых даже на протяженной поверхности. Введение стока плазмы существенно изменяет параметры и геометрию разряда и позволяет существовать его в режиме большой длительности импульса при фиксированной высоте плазменного слоя. Разряд характеризуется существованием стабильной низкотемпературной оболочки с резкой границей раздела между ней и высокотемпературным каналом разряда. Устранение струйного истечения позволит изучать неподвижную газовую оболочку

ку в условиях интенсивного облучения со стороны  $H$ -прижатого разряда, что не достигается в искровых разрядах, импульсных дугах и ударных волнах.

Ленинград

Поступила в редакцию  
2 IV 1973

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Горшкова, В. А. Горшков, И. В. Подмошенский. Теплофизика высоких температур, **12**, 1974.
  2. Л. Д. Горшкова, В. А. Горшков, И. В. Подмошенский. Теплофизика высоких температур, **6**, 1130, 1968.
  3. Н. Н. Огурцова, И. В. Подмошенский, В. М. Шелемина. Теплофизика высоких температур, **6**, 48, 1968.
  4. Л. Д. Горшкова, В. А. Горшков, И. В. Подмошенский. Ж. прикл. спектроскопии, **12**, 8, 1970.
  5. К. Фольстрат. В сб. Физика быстропротекающих процессов, **1**. «Мир», 1971, стр. 135.
-