

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНОГО САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА ПРИ БОЛЬШИХ МЕЖЭЛЕКТРОДНЫХ РАССТОЯНИЯХ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОДОВ БЕЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

В.В. Аполлонов, Г.Г. Байцур,
А.М. Прохоров, Е.Э. Трефилов,
К.Н. Фирсов, Б.Г. Шубин

Обычно полагается, что начальные электроны для инициирования объемного самостоятельного разряда (ОСР) создаются за счет предыонизации газа [1, 2]. При этом, как правило, рассматривается случай слабой предыонизации, когда распределение напряженности электрического поля после наложения напряжения на РП не отличается от начального (расчитанного для вакуума и определяемого формой электродов), чем и обусловлены жесткие требования к начальной однородности поля электродной системы [2], необходимые для обеспечения одинаковых условий ионизационного размножения первичных электронов во всем РП и однородности накачки активной среды.

В [3-6] развит новый подход к проблеме осуществления ОСР, в котором предложено вместо предыонизации газа заполнять РП электронами при их дрейфе от прикатодного источника к аноду в слабом поле смещения. Развитие ионизационных процессов на стадии формирования ОСР в этом случае [3-6] определяется не начальным, а фактическим распределением электрического поля, складывающимся в динамике перемещения объемного заряда электронов по РП, причем оно настолько отличается от начального, что оказывается возможным получить ОСР, развивающийся со всей поверхности катода в виде пластины с острыми краями. Таким образом, возможно динамическое управление условиями ионизационного размножения электронов. Характерно, что данные условия не обязательно должны быть одинаковыми по всем РП, а лишь такими, чтобы стадия формирования ОСР завершалась образованием близкого к однородному столба плазмы в РП.

Согласно [3, 4], для получения ОСР при заполнении РП электронами достаточно лишь увеличивать пропорционально межэлектродному расстоянию (d) время нарастания напряжения на РП τ_{φ} и напряжение генератора питания. Представляет интерес проверить это предположение при изменении d в широких пределах.

В настоящей работе исследуются особенности ОСР при $d=10-60$ см с целью поиска режима зажигания ОСР, обеспечивающего его масштабируемость, т.е. возможность увеличения d без изменения состава газа, удельного вклада энергии в плазму ОСР, схемы генератора питания и формы электродов.

Эксперименты проводились в смеси газов $CO_2 : N_2 : He = 4:16:80$ атмосферного давления с добавкой ~ 1 мм рт.ст. триэтиламина.

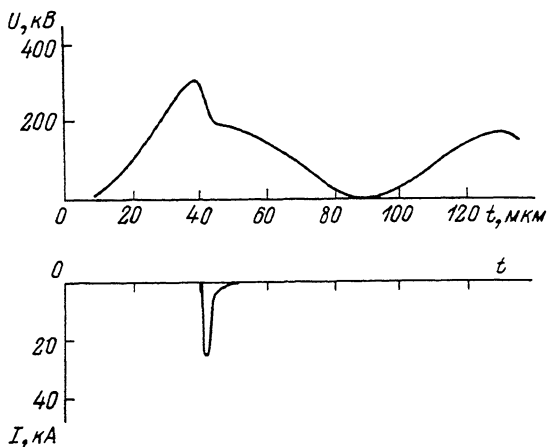


Рис. 1. Осциллограммы напряжения U и тока I ОСР в режиме накачки с плавным нарастанием напряжения.

Анод РП — пластина из Al размерами 170×120 см; катод — пластина размерами 50×40 см с плотно уложенным на ее поверхности проводом в полиэтиленовой изоляции $\varnothing 4$ мм. Источником электронов служил барьерный разряд, зажигаемый между поверхностями полиэтилена и катода при подаче на провод части напряжения с анода [7]. Генератор питания обеспечивал на РП импульсы напряжения с $\tau_{\varphi} = 5-40$ мкс и амплитудой U_0 до 400 кВ при энерговыделении в плазму ОСР 160–200 Дж/л.

В настоящих экспериментах при $d \geq 20$ см на периметре катода всегда присутствовали незавершенные искровые каналы. Их длина возрастала с увеличением d , и при $d > 30$ см ОСР всегда прерывался искровым пробоем на краю РП. При закруглении краев катода радиусом $R_3 = 1.5$ см и углов катода в его плоскости радиусом 8 см длина каналов уменьшилась и удалось получить воспроизводимый ОСР при $d \leq 50$ см. Однако при $d = 60$ см ОСР реализовался с вероятностью $\leq 50\%$, причем длина искровых каналов на периметре катода достигала 15 см. Осциллограммы тока I и напряжения U ОСР при $d = 60$ см и минимальной (необходимой для зажигания ОСР) в этом случае величине $\tau_{\varphi} = 40$ мкс приведены на рис. 1.

Отмеченные особенности, по-видимому, обусловлены недостаточно эффективным экранированием катода электронами из-за уменьшения производительности источника на основе барьерного разряда при одновременном увеличении напряженности поля на краю катода с увеличением d и τ_{φ} . Очевидно, что улучшения воспроизводимости ОСР при $d > 50$ см можно добиться за счет оптимизации формы катода и увеличения производительности источника электронов. Ниже описывается другой способ, позволяющий улучшить воспроизводимость ОСР за счет уменьшения длительности фазы его горения.

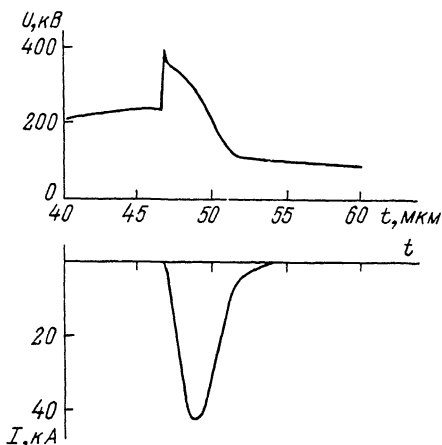


Рис. 2. Осциллограммы U и I в режиме накачки с укорочением фронта напряжения после зажигания слаботочного ОСР.

После формирования ОСР с концентрацией электронов в РП $\sim 10^{10} \text{ см}^{-3}$ его устойчивое горение не нарушается при наложении на РП импульса напряжения от второго генератора с произвольно коротким фронтом [7]. Условия ввода энергии этого второго генератора такие же, как в обычных CO_2 лазерах с УФ предыонизацией и питанием ОСР от генератора с коротким фронтом [8]. Это обстоятельство и было использовано в настоящих экспериментах. Осциллограммы напряжения U и тока I ОСР ($d=60 \text{ см}$) приведены на рис. 2. ОСР формировался при подаче на РП импульса с $\tau_{\text{ф}}=40 \text{ мкс}$ амплитудой $U_0=240 \text{ кВ}$. Второй импульс имел амплитуду 400 кВ , достаточную для введения более 90% энергии генератора в плазму ОСР ($\sim 180 \text{ Дж/л}$).

Однородность разряда в режиме рис. 2 заметно улучшилась — длина искровых каналов на периметре катода не превышала 1–2 см, что объясняется следующим. Из-за усиления напряженности электрического поля вблизи анода объемным зарядом электронов [3–5] формирование ОСР завершается при напряжении $\sim 240 \text{ кВ}$, что меньше напряжения квазистационарной фазы его горения $U_2 = 280 \text{ кВ}$. В режиме рис. 1 после формирования ОСР происходит медленное размножение электронов в его столбе в течение 6–8 мкс до появления регистрируемого тока в РП. Суммарная длительность фазы горения ОСР достигает $\sim 15 \text{ мкс}$, что благоприятствует прорастанию каналов на периметре катода, зарождающихся, по-видимому, уже на стадии формирования ОСР. При подаче на РП второго импульса напряжения длительность ОСР может быть уменьшена до $\sim 5 \text{ мкс}$ (см. рис. 2), что и позволяет значительно уменьшить длину каналов на периметре катода. Косвенным подтверждением справедливости приведенных рассуждений служит наблюдаемое в экспериментах резкое ухудшение качества ОСР в случае, если второй

импульс подавался на РП с задержкой в 4–6 мкс по отношению к моменту зажигания слаботоочного ОСР с концентрацией электронов, поддерживаемой на постоянном уровне $\sim 10^{10}$ см⁻³.

В режиме рис. 2 устранена зависимость длительности фазы горения ОСР от τ_{ϕ} . При этом удается добиться масштабируемости ОСР: для увеличения d от 10 до 60 см ($R_3 = 1.5$ см) достаточно лишь пропорционально увеличить τ_{ϕ} и напряжение генератора питания без изменения формы катода, состава смеси газов и удельного вклада энергии в плазму ОСР.

Л и т е р а т у р а

- [1] Г.А. Месяц, Ю.Д. Королев. – УФН, т. 148, с. 101–122.
- [2] Газовые лазеры. Под ред. И. Ма-Даниэля и У. Нигэна. М.: Мир, 1986.
- [3] В.В. Аполлонов, Г.Г. Байцур, А.М. Прохоров, К.Н. Фирсов. – Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, вып. 20, с. 1262–1265.
- [4] В.В. Аполлонов, Г.Г. Байцур, А.М. Прохоров, К.Н. Фирсов. – Квантовая электроника, 1987, т. 14, с. 135–145.
- [5] В.В. Аполлонов, Г.Г. Байцур, А.М. Прохоров, К.Н. Фирсов. – Письма в ЖТФ, 1987, т. 13, вып. 9, с. 558–562.
- [6] В.В. Аполлонов, Г.Г. Байцур, Б.Б. Кудабаев, А.М. Прохоров, Б.В. Семкин, Е.Э. Трефилов, К.Н. Фирсов, Б.Г. Шубин. – Квантовая электроника, 1987, т. 14, с. 2139–2140.
- [7] В.В. Аполлонов, Г.Г. Байцур, А.М. Прохоров, К.Н. Фирсов. – Квантовая электроника, 1987, т. 13, с. 2538–2540.
- [8] O.P. J u d d, J.Y. W a d a. IEEE J. Quant. Electr., QE-10, p. 12–20 (1974).

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
1 декабря 1987 г.