

ИССЛЕДОВАНИЯ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ИСКРЫ ТЕНЕВЫМ МЕТОДОМ

Е. А. Зобов, А. Н. Сидоров,
И. Г. Литвинова

(Ленинград)

Скользящие искры (СИ) нашли применение для фотопонизации активной среды ТЕА СО₂-лазеров, эксимерных лазеров [1], пинципирования химических лазеров [2]. При больших длинах активной среды лазера или высоких давлениях СИ — весьма удобный способ предыонизации.

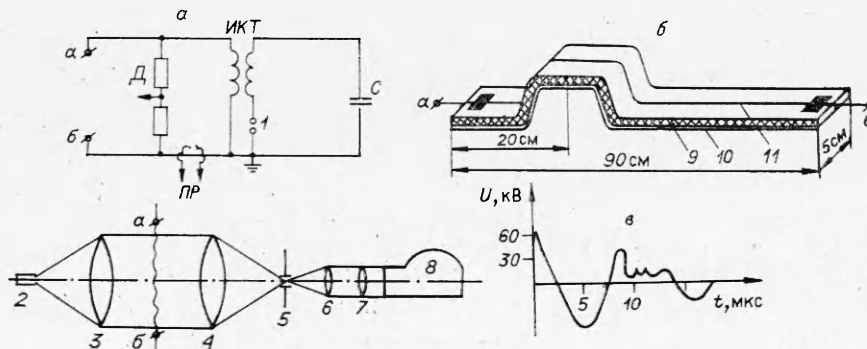
При этом одно из требований к источнику предыонизации — минимальное возмущение активной среды, особенно частотно-импульсных лазеров с большой частотой повторения импульсов. Оптическое качество активной среды имеет существенное значение также и при большой длительности импульса генерации при оптической накачке СИ [3].

Цель данной работы — изучение оптических возмущений среды при применении СИ для предыонизации или оптической накачки активной среды лазеров.

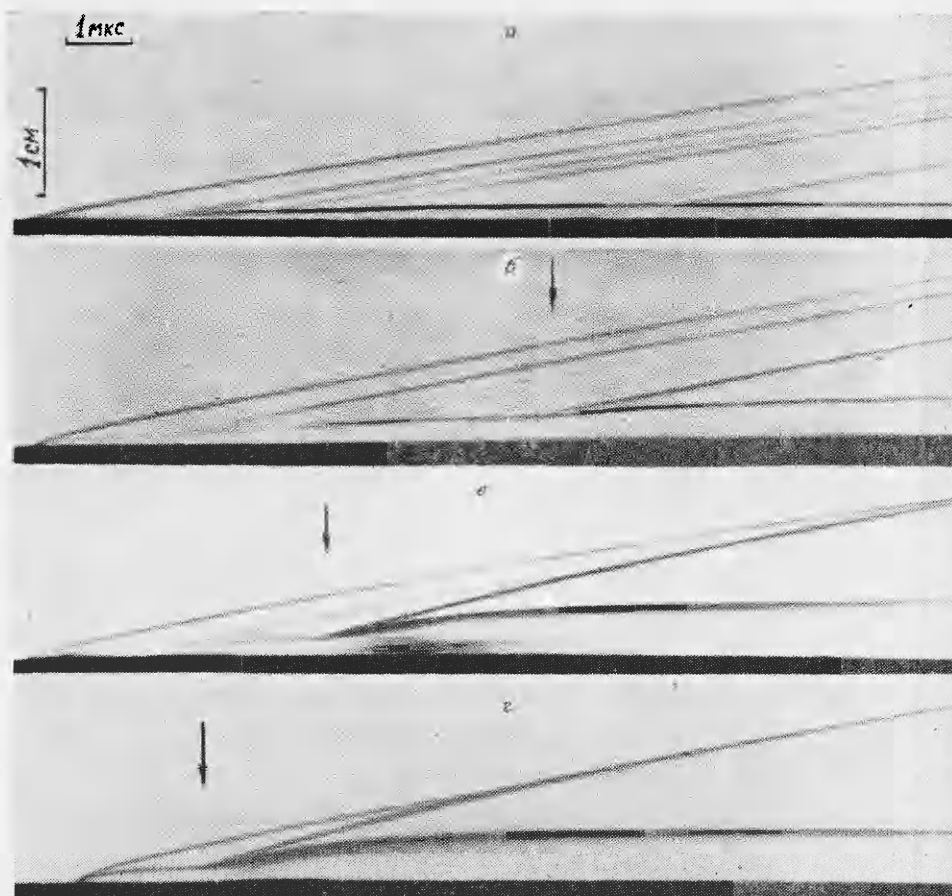
Эксперименты проводились на теневой установке (рис. 1). Объективы 3, 4 имели диаметр 30 см и фокусное расстояние $f = 106$ см. Между объективами помещалась неоднородность $a - b$. Высококачественные объективы 6, 7 с весьма равномерным световым полем, так же как и остальные оптические элементы, тщательно юстировались, в противном случае получение изображений слабых возмущений среды невозможно. Оптимальный диаметр диафрагмы 5 — 2,5 мм. Импульсный источник света 2 типа ЭВ-45 (длительность излучения 250 мкс, планковский излучатель при $T = 4 \cdot 10^4$ К) просвечивал исследуемую неоднородность. Теневые кинограммы снимались с помощью скоростного фоторегистратора 8 СФР-2М. Источник питания СИ — конденсаторная батарея емкостью $C = 1 - 3$ мкФ, которая через коммутируемый разрядник 1 разряжалась на первичную обмотку импульсного кабельного трансформатора ИКТ с коэффициентом трансформации 1 : 10.

СИ формировались на плоской поверхности пленочного диэлектрика 9 толщиной 0,8 мм (рис. 1, б), покрывавшего металлический лист 10 (инициатор). Разрядный промежуток $a - b$ имел П-образный выступ, на плоском участке этого выступа длиной 8 см регистрировалось поперечное сечение канала искры. Разряд стабильно развивался по управляющей полосе 11, метод управления развитием СИ подробно описан в [4]. Для контроля за воспроизводимостью условий разряда напряжение и ток на разрядном промежутке осциллографировались делителем Д и поясом Роговского ПР. Осциллограмма напряжения, соответствующая фоторазверткам рис. 2, б — г, приведена на рис. 1, в. Момент пробоя обозначен стрелкой.

На стримерной стадии движение СИ по поверхности диэлектрика происходит ступенчатым образом [5, 6], что делает возможным появление оптических неоднородностей уже в предпробойной стадии разряда. Для



Р и с. 1



Р и с. 2

выяснения этого с помощью СФР-2М делались фоторазвертки канала СИ сбоку на разных расстояниях от высоковольтного электрода. На рис. 2, а, б щель фоторегистратора установлена на расстоянии 10 см от высоковольтного электрода, на рис. 2, в — 45 см и на рис. 2, г — 75 см. Напряжение на вторичной обмотке ИКТ $U_2 = 50$ кВ для рис. 2, а и $U_2 = 60$ кВ для остальных.

На рис. 2, а показана фоторазвертка канала незавершенной СИ. Уже на этой стадии видны более 10 слабых ударных волн (УВ), имеющих во времени нерегулярный характер. УВ в незавершенной (стримерной) стадии разряда наблюдались впервые.

Нерегулярный характер УВ на рис. 2, а можно объяснить тем, что в наших условиях разряда, т. е. при питании СИ косинусоидальным переменным напряжением, УВ вызываются двумя процессами: увеличением поверхностной емкости C при продвижении стримера, что приводит к броску тока, образованию новой ступени стримера и отходу от нее УВ; сменой полярности прикладываемого напряжения, что приводит к перезаряду поверхностной емкости и также к УВ. Соответственно ток через инициатор имеет две составляющие: $I = U dC/dt + C dU/dt$, где U — напряжение на обкладках конденсатора, образованного плазмой поверхностного разряда и инициатором, C — емкость этого конденсатора, t — время. При перезаряде емкости бросок тока $I \sim C dU/dt$ вызывает УВ, временной интервал между которыми равен полупериоду напряжения. Если организовать СИ на широкой короткой пластине, т. е. исключить влияние составляющей $U dC/dt$, можно получить УВ, имеющие регулярный характер. Нерегулярные УВ возникают при образовании каждой

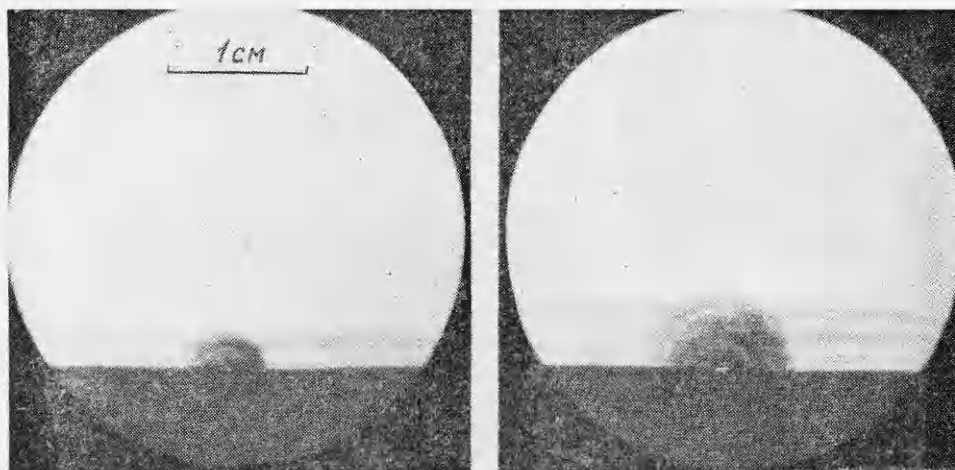


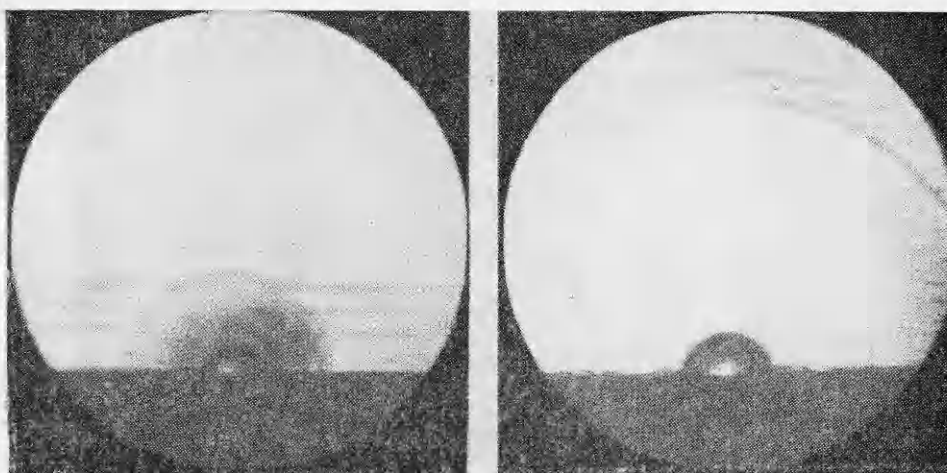
Рис. 3

новой ступени стримера, поэтому число УВ уменьшается от высоковольтного к противоположному электроду (рис. 2, б — г), а канал СИ до момента пробоя будет выглядеть как набор полуцилиндров, длина и диаметр которых уменьшаются от высоковольтного к заземленному электроду.

Наличие УВ позволяет предположить, что теорию расширения канала искрового разряда, разработанную в [7, 8], можно применить для объяснения образования ступенчатого лидера скользящего разряда. Газокинетическая теория [7] основана на предположении, что расширение канала искры происходит под действием быстро выделяющейся энергии в тонком (диаметром около 0,1 мм) канале, при этом границы канала действуют на окружающий газ подобно цилиндрическому «поршню» и перемещаются со сверхзвуковой скоростью, вызывая формирование УВ. Наиболее быстро распространяется внешняя зона канала — фронт УВ. На рис. 2 начальные скорости расширения канала стримера лежат в пределах 1—2 км/с в зависимости от величины прикладываемого напряжения. Максимальные наблюдаемые нами скорости достигали 5 км/с. Граница нагретой ионизированной плазмы в самом начале разряда почти совпадает с фронтом УВ, а затем отделяется от него, сначала расширяясь с меньшей скоростью, а затем оставаясь неподвижной до образования следующей ступени ступенчатого лидера (или броска тока составляющей CdU/dt). В наших условиях диаметр канала СИ менее 0,1 мм (предел разрешения регистрирующей аппаратуры) и плотность тока может достигать значений 1 МА/см² и более. Однако энергия, выделяющаяся в канале стримера, невелика. Поэтому УВ теряет скорость до значений скорости звука на пути порядка 3—5 мм.

Из газокинетической теории расширения канала искры следует, что внутри проводящего канала плотность газа должна быть на несколько порядков ниже плотности невозмущенного газа, все более снижаясь к оси канала. В результате на оси канала может образоваться зона с высокой удельной проводимостью. Для выяснения этого выполнены теневые кинограммы поперечного сечения канала искры на плоской площадке длиной 8 см. На кинограмме (рис. 3, временной интервал 5,4 мкс) видна зона низкой оптической плотности, которую можно интерпретировать как зону с низкой температурой канала. Вероятно, что в начальный момент разряда это зона с низкой плотностью газа, а затем она заполняется холодным газом из области на границе канала искры и диэлектрической поверхности (последний кадр кинограммы рис. 3 выполнен через 200 мкс после начала разряда).

Из рис. 3 видно, что канал СИ расширяется равномерно во все стороны — это противоречит данным [9]. Кроме УВ от основного канала, вид-



ны УВ от боковых ветвей, возникающих одновременно (в пределах разрешающей способности регистрирующей аппаратуры).

Таким образом, СИ являются источником возмущений окружающей газовой среды как в завершенной, так и в незавершенной стадии разряда. Причина возмущений — природа образования СИ и форма импульса напряжения, приложенного к разрядному промежутку. Характерные скорости распространения этих возмущений от 0,4 до 1 км/с. Это обстоятельство следует учитывать при использовании СИ в качестве источника предыонизации лазерных сред или в качестве источника оптической накачки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов В. Ю., Борисов В. М. и др. Использование разряда по поверхности диэлектрика для предыонизации в экспериментальных лазерах. — Квант. электроника, 1981, т. 8, № 1.
2. Дашук П. И., Рымарчук Ю. А. и др. Использование скользящего разряда в смеси электроотрицательных газов для импульсного фотолитза. — Письма в ЖТФ, 1982, т. 8, № 20.
3. Борович Б. Л., Григорьев П. Г. и др. Исследование динамики мощных излучающих разрядов в газах. — Тр. ФИАН, 1974, № 76.
4. Андреев С. И., Зобов Е. А., Сидоров А. Н. Метод управления развитием и формированием системы параллельных каналов скользящих искр в воздухе при атмосферном давлении. — ПМТФ, 1976, № 3.
5. Андреев С. И., Зобов Е. А., Сидоров А. Н. Исследование скользящей искры в воздухе. — ПМТФ, 1978, № 3.
6. Turkowski W. Badania jskry dlugiej slizgowej. — Archiwum elektrotechniki (PRL), 1981, v. 30, N 1.
7. Драбкина С. И. К теории развития канала искрового разряда. — ЖЭТФ, 1951, т. 21, вып. 4.
8. Брагинский С. И. К теории развития канала искры. — ЖЭТФ, 1958, т. 34, вып. 6.
9. Ваныков М. П., Даниэль Е. В. К вопросу о развитии канала поверхностного разряда. — ЖТФ, 1967, т. 37, вып. 8.

Поступила 30/X 1984 г.