

04:07

Исследование характеристик модуля электрической прокачки импульсно-периодического лазера на молекулах ArF^* , KrF^* и XeF^*

© А.К. Шуаибов, Л.Л. Шимон, А.И. Миня, А.И. Дащенко

Ужгородский государственный университет

Поступило в Редакцию 4 марта 1997 г.

Представлены результаты исследования характеристик модуля электрической прокачки миниатюрного импульсно-периодического лазера на фторидах инертных газов, работающего на смесях $\text{He}/(\text{Ar}, \text{Kr}, \text{Xe})/\text{F}_2$ при давлении 100–350 кПа. Показано, что наиболее оптимальным для питания модуля электрической прокачки является постоянное положительное напряжение. Генерационная зона отрицательного коронного разряда представляет интерес для разработки простых эксимерных ламп высокого давления с самопрокачкой рабочей среды.

В работе [1] сообщалось о применении электрической прокачки рабочих сред импульсно-периодических N_2 и XeCl^* лазеров, которая позволила увеличить частоту следования импульсов до 70 Hz при средней скорости поперечного потока газовой среды $v \leq 3$ m/s. Данная прокачка основана на использовании коронного разряда в системе электродов "иголки–сетка", общая длина которой соизмерима с длиной активной среды лазера. Скорость прокачки газов $v \sim (I)^{1/2}$ [2] (где I — средний ток коронного разряда) ограничена развитием неустойчивости коронного разряда. В [3] изучались характеристики подобного коронного разряда в смеси $\text{He}/\text{Xe}/\text{HCl}$, из которых видно, что изменением давления и состава рабочей среды XeCl^* -лазера можно в широких пределах изменять величину тока неконтрагированного коронного разряда. Так как рабочие среды электрокоронных лазеров на фторидах инертных газов (смеси типа $\text{He}/\text{R}/\text{F}_2$, где $\text{R} = \text{Ar}, \text{Kr}$ и Xe) особенно агрессивны и характеризуются повышенными требованиями к чистоте рабочих смесей, то для них представляет особый интерес применение электрической прокачки.

В настоящей работе представлены результаты исследования режимов работы модуля электрической прокачки миниатюрного импульсно-периодического лазера на монофторидах инертных газов.

1. Исследование коронного разряда проводилось на установке, описанной в работах [3,4]. Система электродов коронного разряда состояла из одного ряда иголок и никелевой сетки и имела длину 11 см. Плотность иголок в ряду составляла: 1 иголка на 1 см длины. Сетка имела ячейки $0.1 \times 0.1 \text{ см}^2$ и была изготовлена из проволочек диаметром 0.03 см. Межэлектродное расстояние в системе электродов коронного разряда равнялось 2 см. Система электродов выносилась из разрядной камеры лазерного излучателя и устанавливалась в отдельной камере высокого давления, которая была снабжена окнами из CaF_2 . На иголки подавалось постоянное напряжение отрицательной или положительной полярности через ограничительное сопротивление $R = 1-3 \text{ М}\Omega$.

Исследовались вольт-амперные и частотные характеристики положительного и отрицательного коронного разряда в смесях $\text{He}/\text{R}/\text{F}_2$ при давлениях 100–350 кПа. Методом эмиссионного спектрального анализа изучен качественный состав плазмы генерационных зон данных коронного разряда.

2. Как отрицательный, так и положительный коронные разряды состояли из генерационной зоны, расположенной у кончиков иголок и темной внешней области. Генерационная зона коронного разряда была сплошной, а не состоящей из набора точечных генерационных зон (возникающих возле каждой из иголок) на подобии генерационной зоны коронного разряда в рабочей среде XeCl^* -лазера [3]. Генерационная зона в коронном разряде на смесях $\text{He}/\text{R}/\text{F}_2$ представляла собой яркий плазменный шнур длиной 11 см и диаметром 0.5–1.0 см. Особенно интенсивным было излучение генерационной зоны отрицательного коронного разряда. Поперечные размеры генерационной зоны коронного разряда увеличивались с ростом напряжения на иголках. При превышении определенного, критического напряжения возле одной из иголок появлялся анодный или катодный стример и коронный разряд переходил в контрагированное состояние.

Вольт-амперные характеристики коронного разряда приведены на рис. 1. Для рабочих сред одинакового состава и давления вольт-амперные характеристики положительного и отрицательного коронных разрядов значительно отличались по величине потенциалов зажигания, но предельные токи неконтрагированной стадии разрядов были пример-

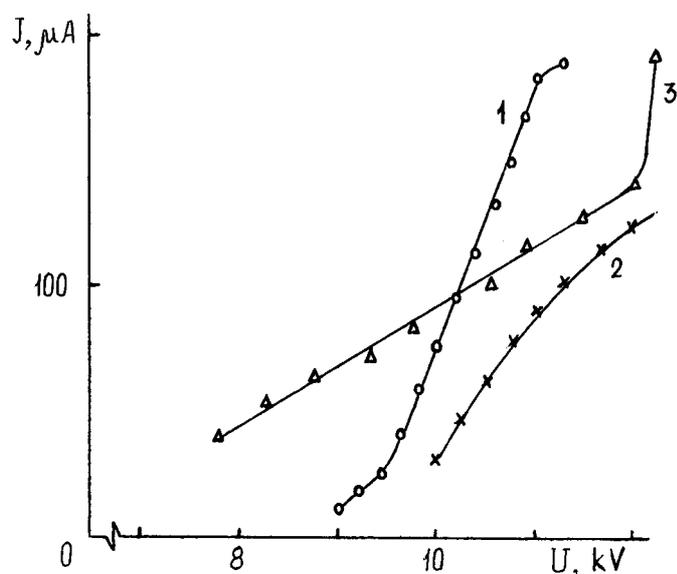


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики коронных разрядов отрицательной (1, 2) и положительной (3) полярности в смесях: 1, 3 — He/Kr/F₂ = 200/6, 4/0, 8 кПа; 2 — He/Ar/F₂ = 190/17, 6/0, 8 кПа.

но равными. Положительный коронный разряд более предпочтительный при пониженном напряжении питания ($U \leq 10$ кВ), а отрицательный — при более высоких U . Увеличение давления He до 300–350 кПа привело к росту потенциалов зажигания и расширению диапазона рабочих напряжений. Вольт-амперные характеристики в смесях He/R/F₂ имели форму, близкую к линейной, и значительно отличались от коронного разряда квадратических зависимостей типа $I = \alpha(U - U_0)^2$ [5] (где α — постоянная, U_0 — потенциал зажигания разряда), которые наиболее типичны для классического коронного разряда. Это вызвано нелинейностями коронного разряда в инертных газах [6], при которых разряд становится промежуточным между коронным и тлеющим.

В коронном разряде на электроположительных газах (смесь He/N₂) разряд данного типа был в основном непрерывным, а максимальный ток

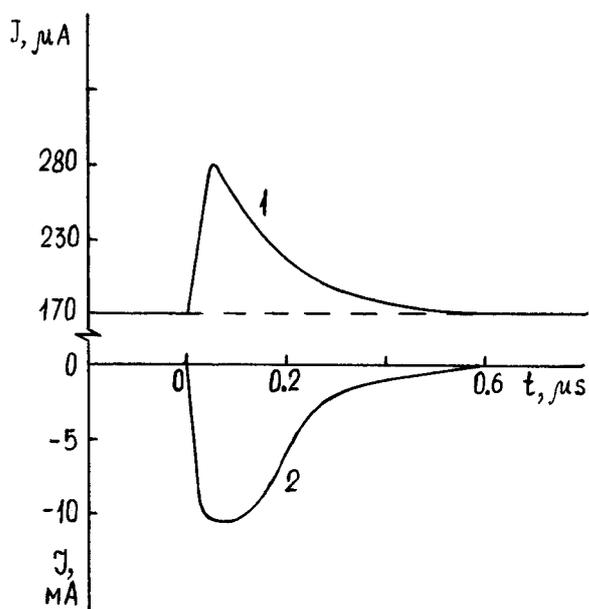


Рис. 2. Зависимости частоты повторения импульсов тока коронных разрядов в смеси He/Kr/F_2 от величины положительного (1) и отрицательного (2) напряжений питания.

на его неконтрагированной стадии определялся величиной балластного сопротивления и достигал 2–3 мА [7]. При наличии в смеси сильно электроотрицательных молекул режим протекания тока отрицательного коронного разряда был чисто импульсным, а в положительном коронном разряде ток состоял из постоянной и импульсной составляющих. Типичные формы импульсов тока коронного разряда представлены на рис. 2. Длительность импульсов тока коронного разряда на полувысоте составляла 0.2–0.3 μs . Передний фронт имел длительность $\leq 50 \text{ ns}$, а задний — 1.0 μs .

Зависимости частоты следования импульсов тока от величины и полярности напряжения на иголках приведены на рис. 3. С увеличением напряжения питания частота следования импульсов тока

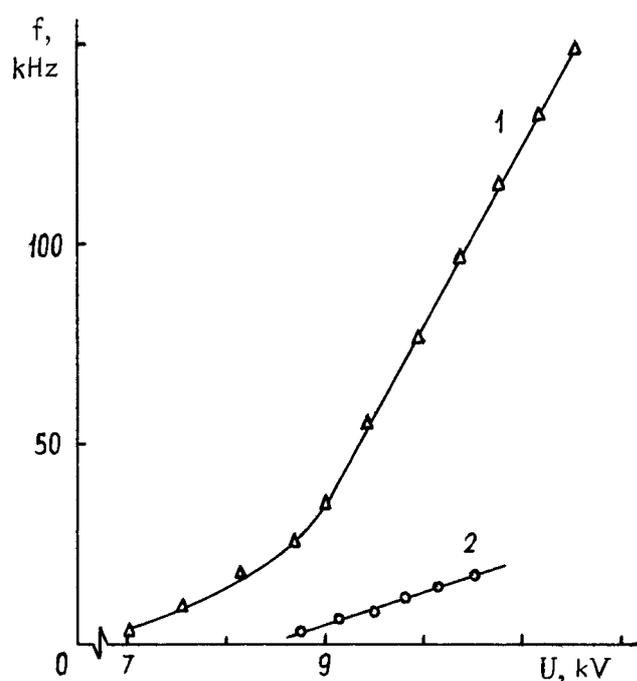


Рис. 3. Форма импульсов тока положительного (1) и отрицательного (2) коронных разрядов в смеси He/Kr/F₂.

положительного коронного разряда возрастала по квадратическому закону, а для отрицательного коронного разряда подобные зависимости были линейными. Частота следования импульсов тока отрицательного коронного разряда находилась в пределах 1–40 kHz, а для положительного коронного разряда частота следования возрастала до 160 kHz. Верхние пределы частот следования импульсов тока в отрицательном коронном разряде определялись подвижностью положительных ионов $R^+(R_2^+)$, экранирующих отрицательное острие иголок [8]. С уменьшением атомного веса инертных газов предельная частота следования импульсов тока увеличивалась и в смеси He/F₂ достигала 80–90 kHz. В положительном коронном разряде частота следования импульсов

тока, вероятно, определяется подвижностью отрицательных ионов F^- , экранирующих положительные острия иголок системы электродов. Постоянная составляющая тока положительного коронного разряда является, вероятно, потоком положительных ионов инертных газов, но для полного запираания межэлектродного промежутка данного коронного разряда плотность отрицательных ионов не является достаточно большой.

4. Исследование обзорных спектров излучения генерационной зоны коронного разряда показало, что она является селективным источником излучения на 193 nm ArF^* , 249 nm KrF^* и 351 nm XeF^* . В видимой области спектра наблюдалось избирательное заселение нескольких p -состояний атомов тяжелых инертных газов на переходах $Ar(4s-5p)$, $Kr(5s-6p)$ и $Xe(6s-7p)$ в сине-зеленой области спектра. Это излучение определяло цвет генерационной зоны коронного разряда, но его интенсивность была примерно на два порядка ниже интенсивности излучения эксимерных полос. Исходя из этого, на основе генерационной зоны отрицательного коронного разряда могут быть разработаны простые источники ультрафиолетового излучения фторидов инертных газов с самопрокачкой рабочей среды. Такие источники ультрафиолетового излучения характеризуются повышенной селективностью.

Таким образом, исследование режимов работы модуля электрической прокачки импульсно-периодического лазера на монофторидах инертных газов показало, что для коронного разряда в смесях $He/R/F_2$ наиболее оптимально использовать напряжение положительной полярности, так как ток разряда при этом является в основном непрерывным и потенциалы зажигания его ниже, чем для отрицательного коронного разряда; генерационная зона коронного разряда — сплошная, что способствует получению более однородного поперечного потока газовой смеси за сеткой; в генерационной зоне отрицательного коронного разряда эффективно образуются молекулы $RF(B)$, что может быть использовано для разработки простых источников ультрафиолетового излучения для медико-биологических применений.

Список литературы

- [1] Баранов А.И., Гурков К.В., Тарасенко В.Ф. и др. // ПТЭ. 1994. № 4. С. 108–111.
- [2] Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. М.: Энергоатомиздат, 1986. 160 с.
- [3] Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Шевера И.В. // Квантовая электроника, 1997. Т. 24. № 2. (в печати).
- [4] Шуаибов А.К., Шевера И.В. // ЖПС. 1997. Т. 64. С. 246.
- [5] Henson P.L. // J. Appl. Phys. 1981. V. 52. P. 709.
- [6] Belevtsev A.A., Viberman L.M. // Beitr. Plasmaphys. 1983. Bd 23. P. 303.
- [7] Шуаибов А.К., Миня А.И., Звенигородский В.В., Шевера В.С. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 13. С. 73.
- [8] Лозанский Э.Д., Фирсов О.Б. Теория искры. М., 1975. 271 с.