

Широкополосный излучатель низкого давления на хлоридах аргона, криптона и ксенона

А.К.Шуаибов, А.И.Дашенко, И.В.Шевера

Исследованы характеристики широкополосного эксимерного излучателя, работающего в спектральном диапазоне 175–310 нм и возбуждаемого при помощи тлеющего разряда постоянного тока, на смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂. Установлено, что данный разряд является источником излучения, спектр которого состоит из полос излучения молекул ArCl, KrCl, XeCl и Cl₂. Оптимальное парциальное давление аргона в смеси составляет 1.3 кПа, криптона и ксенона – по 0.24 кПа, а парциальное давление хлора находится в диапазоне 0.15–0.30 кПа. Мощность УФ-ВУФ излучения со всей боковой поверхности разрядной трубки достигает 4–6 Вт при КПД 15–25%. Излучатель представляет интерес для применений в фотометрии, микроэлектронике, фотохимии и медицине.

Ключевые слова: тлеющий разряд, широкополосный излучатель, хлориды тяжелых инертных газов.

На основе продольного тлеющего разряда низкого давления в смеси Ar–Cl₂ нами был разработан излучатель на системе полос молекул ArCl* и Cl₂^{*}, работающий в диапазоне 175–260 нм [1]. Для расширения спектрального диапазона до 310 нм, увеличения мощности и КПД излучателя за счет включения в состав активной среды хлоридов криптона и ксенона может быть использована рабочая смесь Ar–Kr–Xe–Cl₂. Результаты оптимизации такой газовой среды в излучателях с накачкой поперечным разрядом малой длительности представлены в работах [2, 3].

Из-за незавершенности колебательной релаксации внутри В-, С- и D-состояний монохлоридов инертных газов при низких давлениях рабочих смесей (по сравнению с импульсными эксимерными лампами атмосферного давления) [4], используемых в эксимерных лампах постоянного тока, полосы излучения RCl (В, С, D–Х) значительно уширены. Это приводит к формированию одной широкой полосы излучения в УФ-ВУФ диапазоне спектра, что представляет интерес для ряда применений. При выборе парциального давления аргона, которое значительно превышает парциальные давления криптона и ксенона, достигается экономия дорогостоящих газов при работе в проточном режиме.

Благодаря значительной эффективности передачи энергии от атомов аргона в метастабильных состояниях невозбужденным атомам криптона и ксенона выходные характеристики излучателей на смесях типа Ar–Kr–Xe–Cl₂ могут приближаться к соответствующим характеристикам излучателей на смесях Xe–Cl₂ и Kr–Cl₂. Оптимизация режима работы излучателей на смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂ с накачкой продольным разрядом постоянного тока ранее не проводилась.

В настоящей работе исследуются характеристики широкополосного эксимерного излучателя постоянного

тока, работающего на смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂. Тлеющий разряд постоянного тока зажигался в разрядной трубке с внутренним диаметром 5 мм и расстоянием между анодом и катодом 100 мм. Разрядный ток I_{ch} находился в пределах 1–30 мА, а спад напряжения на электродах излучателя $U_{ch} = 1–4$ кВ. Другие условия эксперимента аналогичны приведенным в наших работах [1, 5].

Тлеющий разряд имел слаботочную стадию ($I_{ch} \leq 1$ мА) и сильноточную стадию ($I_{ch} \geq 1–2$ мА), которая и использовалась для накачки широкополосного эксимерного излучателя. Вольт-амперные характеристики тлеющего разряда в смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂ при разных парциальных давлениях аргона представлены на рис.1,а. На

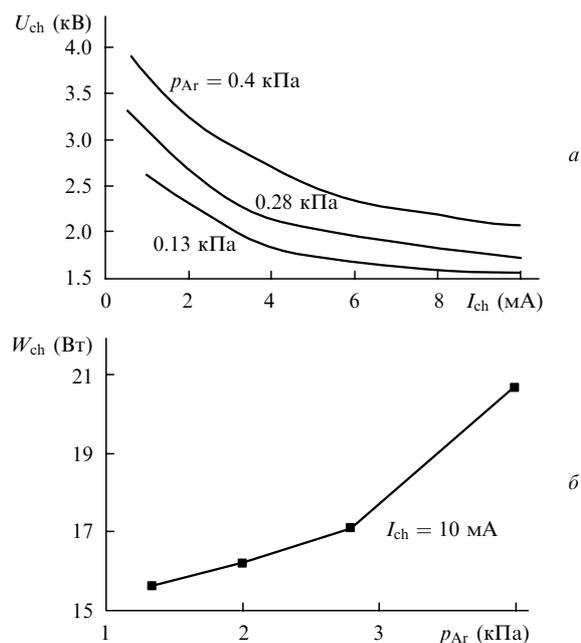


Рис.1. Вольт-амперные характеристики продольного тлеющего разряда в смеси состава Ar:Kr:Xe:Cl₂ = p_{Ar} :0.24:0.24:0.16 кПа (а) и зависимость мощности W_{ch} , вкладываемой в плазму этой же смеси, от парциального давления аргона (б).

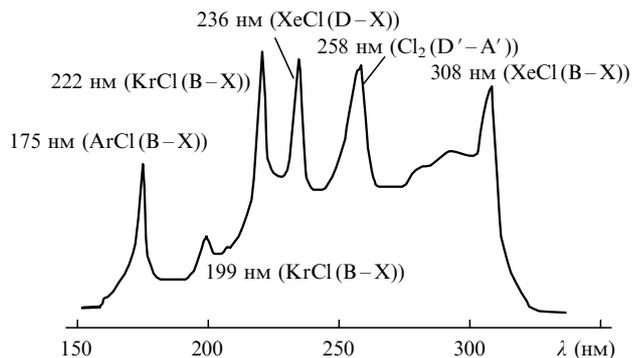


Рис.2. Спектр УФ-ВУФ излучения плазмы тлеющего разряда на смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂.

них можно различить область поднормального тлеющего разряда ($I_{ch} = 1 - 7$ мА) [6] и область режима, близкого к нормальному горению тлеющего разряда ($I_{ch} \geq 7$ мА). С увеличением содержания аргона в смеси потенциал зажигания разряда увеличивался с 2500 до 4000 В, а квазистационарный спад напряжения возрастал с 1750 до 2500 В. Вариации парциального давления ксенона $p_{Xe} = 40 - 400$ Па к значительным изменениям вольт-амперной характеристики не приводили. С увеличением парциального давления аргона мощность, вкладываемая в плазму тлеющего разряда, увеличивалась от 15.5 до 21 Вт (рис.1,б). При увеличении p_{Xe} от 40 до 400 Па мощность разряда увеличивалась от 17.5 до 18.5 Вт.

В спектре излучения разряда на смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂ (рис.2) на фоне широкой полосы с $\lambda = 175 - 310$ нм выделялись полосы с максимумами на $\lambda = 175$ нм (ArCl(B-X)), 199 нм (KrCl(B-X)), 222 нм (KrCl(B-X)), 236 нм (XeCl(D-X)), 258 нм (Cl₂(D'-A')) и 308 нм (XeCl(B-X)). Оптимальное парциальное давление хлора находилось в диапазоне 0.15–0.30 кПа. Для получения примерно одинаковой мощности излучения на всех В-Х-полосах RCl парциальные давления криптона и ксенона в смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂ должны находиться в диапазоне 0.2–0.3 кПа. Распределение интенсивности в спектре широкополосного эксимерного излучателя было наиболее чувствительным к парциальному давлению ксенона в рабочей смеси.

Зависимость яркости излучения тлеющего разряда на смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂ в диапазоне 175–310 нм от парциального давления аргона представлена на рис.3. Для получения максимальной мощности коротковолнового излучения парциальное давление аргона в рабочей среде не должно превышать 1.3 кПа. При увеличении p_{Ar} до 3.0 кПа мощность излучения разряда уменьшалась почти в два раза, а при $p_{Ar} \geq 4 - 5$ кПа тлеющий разряд переходил в контрагированное состояние. При этом плазма токового шнура является ион-ионной (состоит исключительно из положительных ионов инертных газов и отрицательных ионов хлора), поскольку все электроны электроотрицательной плазмы такого разряда за конечный

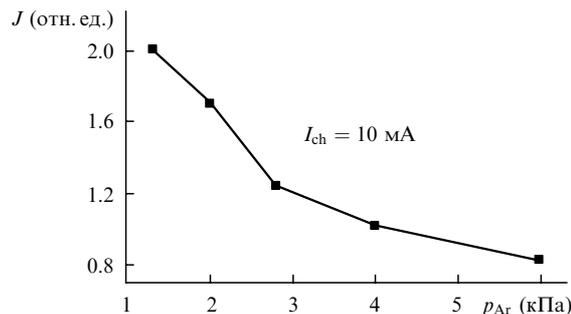


Рис.3. Зависимость яркости излучения J продольного тлеющего разряда на смеси состава Ar:Kr:Xe:Cl₂ = p_{Ar} :0.24:0.24:0.16 кПа в спектральном диапазоне 175–310 нм от парциального давления аргона.

промежуток времени диффундируют на стенки разрядной трубки [7].

Как и для излучателя постоянного тока на смеси Ar–Cl₂ [1], максимальная скорость роста мощности УФ-ВУФ излучения исследуемого разряда получена в поднормальном режиме при $I_{ch} = 1 - 10$ мА. При увеличении I_{ch} до 24 мА скорость роста мощности коротковолнового излучения уменьшалась в 2–3 раза, а при $I_{ch} = 25 - 30$ мА наблюдался спад мощности излучения, что связано с перегревом рабочей смеси излучателя.

В разряде на смеси состава Ar:Kr:Xe:Cl₂ = 1.30:0.24:0.24:0.16 кПа полная мощность УФ-ВУФ излучения с максимумами на $\lambda = 175, 199, 222, 236, 258$ и 308 нм достигала 4.0–6.0 Вт. КПД излучателя уменьшался с ростом тока разряда и находился в диапазоне 15–25%.

Таким образом, продольный тлеющий разряд на смеси Ar–Kr–Xe–Cl₂ при общем давлении не более 2 кПа является широкополосным источником излучения в диапазоне 175–310 нм с максимумами на $\lambda = 175, 199, 222, 236, 258$ и 308 нм, что связано с излучательным распадом молекул ArCl(B), KrCl(B, C), XeCl(B, C) и Cl₂(D') и незавершенностью колебательной релаксации внутри В-, С- и D-состояний хлоридов Ar, Kr, Xe и D'-состояния молекулы Cl₂. Оптимальные парциальные давления Ar, Kr, Xe и Cl₂ в смеси соответственно равны 1.30, 0.24, 0.24 и 0.15–0.30 кПа. Мощность излучения не превышает 6.0 Вт, а КПД – 25%. Широкополосный эксимерный излучатель может быть использован в коротковолновой фотометрии, микроэлектронике и медицине.

1. Шуайбов А.К., Дашенко А.И., Шевера И.В. *Квантовая электроника*, **31**, 371 (2001).
2. Шуайбов А.К., Дашенко А.И. *Квантовая электроника*, **30**, 279 (2000).
3. Шуайбов А.К., Шимон Л.Л., Дашенко А.И., Шевера И.В. *ЖТФ*, **71**, № 2, 77 (2001).
4. Datsyuk V.V., Izmailov I.A. *J. Phys. Studies*, **4**, 274 (2000).
5. Шуайбов А.К., Дашенко А.И., Шевера И.В. *ЖПС*, **68**, 275 (2001).
6. Райзер Ю.П. *Физика газового разряда* (М.: Наука, 1987, с.582).
7. Цендин Л.Д. *ЖТФ*, **59**, № 1, 21 (1989).