ТЕПЛОФИЗИКА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР, 2001, том 39, № 5, с. 833–845

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 539.186.537.521

СТАЦИОНАРНЫЙ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ НА СМЕСИ He/Cl_2

© 2001 г. **А. К. Шуаибов, А. И. Дащенко, И. В. Шевера**

Ужгородский национальный университет

Поступило в редакцию 04.01.2001 г.

ВВЕДЕНИЕ

Продольный тлеющий разряд постоянного тока на смесях Kr и Xe с молекулами хлора успешно используется в эксимерных лампах низкого давления [1–3]. В работах [2, 3] приведены выходные характеристики электроразрядной лампы на длине волны $\lambda = 258$ нм $Cl_2(D'–A')$, которая не уступает по выходной мощности излучения и КПД эксимерным лампам на 308 нм XeCl и 222 нм KrCl. Детальная оптимизация рабочей среды излучателя на смеси He/Cl_2 ($\lambda = 258$ нм) не проводилась. Эксперименты [1–3] были выполнены с тлеющим разрядом в трубках диаметром 12–30 мм и величиной межэлектродного расстояния $L \geq 170$ мм. Преимуществом таких излучателей является отсутствие в рабочей среде дорогостоящих газов (Xe и Kr), что дает возможность работы в режиме прокачки рабочей среды. Возможности расширения спектрального диапазона ламп низкого давления на смеси He/Cl_2 в более коротковолновую область и уменьшение их габаритов ранее не исследовались. Как показано в [4], в спектрах излучения плазмы поперечного разряда на фреоне-12 и смеси Ar/CF_2Cl_2, кроме полосы с $\lambda = 258$ нм, наблюдается также и излучение с $\lambda = 200/195$ нм Cl_2^*, которое может также использоваться в лампах на смесях He/Cl_2 или He/CF_2Cl_2. Такой излучатель представляет интерес для стерилизации медицинских инструментов поскольку в [5] показано, что основным фактором, определяющим эффективность уничтожения бактерий, является излучение в диапазоне 180–220 нм.

В настоящей работе представлены результаты оптимизации малогабаритного излучателя на смеси He/Cl_2, возбуждаемой продольным тлеющим разрядом постоянного тока. Проанализированы результаты исследования электрических, спектральных и энергетических характеристик УФ-излучателя низкого давления на молекулах хлора. Накачка смеси He/Cl_2 осуществлялась в продольном тлеющем разряде постоянного тока. Показано, что такой источник излучает на полосах с $\lambda = 258$ нм $Cl_2(D'–A')$ и 200/195 нм $Cl_2('\Sigma–'\Pi_4)$. Оптимальное парциальное давление хлора в смеси находилось в пределах 0.6–1.0 кПа, а оптимальное давление смеси для неконтрагированного тлеющего разряда – 1.0–1.3 кПа, контрагированного – 7 кПа. Суммарная мощность излучения со всей поверхности лампы в диапазоне 160–280 нм достигала 1.0 Вт при КПД – 2%.

Методика и техника эксперимента. В эксперименте измерялись: вольт-амперные характеристики и мощность, вкладываемая в плазму; спектральные характеристики в области 130–350 нм; зависимости яркости излучения полос Cl_2^* от давления и состава смеси He/Cl_2. Спектры корректировались с учетом относительной спектральной чувствительности системы "вакуумный монохроматор + ФЭУ-142". Калибровка спектрометра проводилась по излучению континуума молекулы водорода в области 165–350 нм. Геометрический фактор при измерении мощности излучения лампы учитывался согласно закону Манжена [6], т.е. $\sim\sin(\beta/2)$, где $\beta = \mathrm{arctg}\,(Z/2L)$, L – расстояние от измерительной головки до поверхности лампы, Z – диаметр входного отверстия измерительной головки. Абсолютная мощность излучения со всей поверхности излучателя определялась по формуле

$$W = (S_0/S_d)(\pi)^{-1}(\sin(\beta/2))^{-2}k_1k_2W_0, \qquad (1)$$

где S_0 – полная площадь рабочей поверхности лампы; S_d – площадь диафрагмы; k_1 и k_2 – коэффициенты, учитывающие спектральные характеристики измерительной головки прибора "Кварц-01" и светофильтра; W_0 – показания измерителя "Кварц-01" в ватах. Между измерительной головкой прибора "Кварц-01" и источником излучения устанавливался светофильтр, отсекающий видимое и инфракрасное излучение плазмы. Отбор излучения, как и в работе [3], проводился с небольшого участка поверхности лампы (ограниченного диафрагмой диаметром d), который при $L > 10d$ рассматривался как точечный.

Разряд постоянного тока зажигался в тонкостенной кварцевой трубке с внутренним диаметром 5 мм и межэлектродным расстоянием 100 мм. Никелевые электроды имели одинаковую цилиндрическую форму и размещались внутри разрядной трубки в ее концевых участках. Трубка устанавливалась в буферную камеру объемом 10 л,

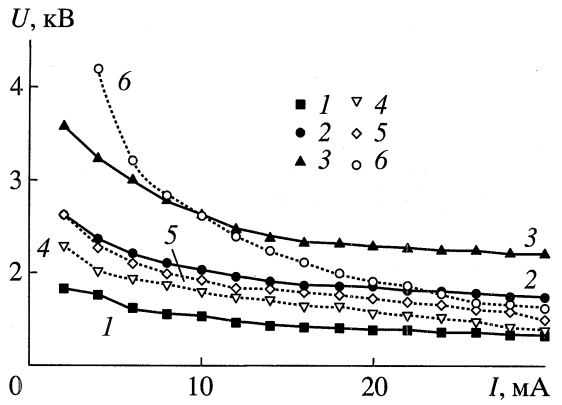

Рис. 1. Вольт-амперные характеристики тлеющего разряда на смеси He/Cl_2 с относительным содержанием компонент: *1* – 1.33/0.27 кПа, *2* – 1.33/0.67, *3* – 1.33/1.33, *4* – 4.0/0.2, *5* – 6.7/0.2, *6* – 20.0/0.2.

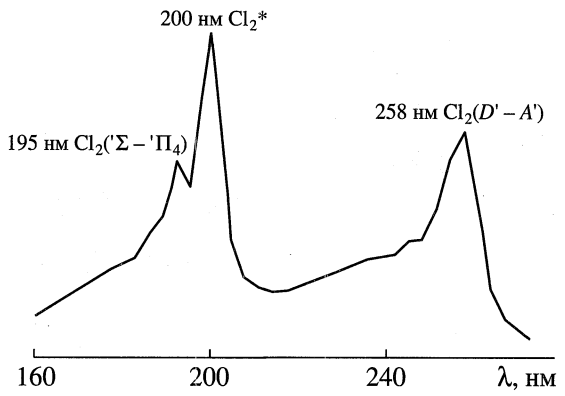

Рис. 2. Спектр излучения плазмы тлеющего разряда на смеси He/Cl_2 = 1.33/0.53 кПа.

соединенную через окно из CaF_2 с полуметровым вакуумным монохроматором. Система регистрации излучения описана в [7]. Разряд поджигался при помощи высоковольтного выпрямителя с $U \leq$ ≤ 30 кВ, $I_{ch} \leq 100$ мА. Для стабилизации разряда применялось балластное сопротивление $r_b = 100$ кОм.

Электрические и оптические характеристики. Продольный разряд существовал в виде достаточно однородного тлеющего разряда при давлениях смеси $He/Cl_2 \leq 4$ кПа и парциальном давлении $Cl_2 \leq 1.0$ кПа. При более высоком давлении смеси и содержании хлора разряд сжимался к центру разрядной трубки в шнур диаметром 1–2 мм. Вольт-амперные характеристики разряда представлены на рис. 1. При токах $I_{ch} \leq 10$ мА величина напряжения на электродах уменьшалась с ростом тока – поднормальный режим, а при более высоких токах разряд существовал в нормальном режиме, когда величина U_{ch} практически не зависела от I_{ch}. Увеличение содержания хлора в смеси приводило к значительному росту потенциалов зажигания разряда и уменьшению напряжения на электродах в нормальном режиме работы. Увеличение парциального давления He при малом фиксированном парциальном давлении хлора в смеси также приводило к росту величины U_{ch}, но в исследуемом диапазоне токов (I_{ch} = 2–30 мА) нормальный режим работы разряда не достигался.

Спектр излучения плазмы разряда в УФ-области состоял из широких полос $Cl_2(D'–A')$ и $Cl_2('\Sigma–'\Pi_4)$ с центрами соответственно при $\lambda = 258$ и 180–195 нм и максимума континуума Cl_2^* при $\lambda = 200$ нм (рис. 2). Как следует из рис. 2, примерно половина мощности УФ-излучения лампы приходилась на область длин волн ≤200 нм. Результаты оптимизации величины яркости излучения полос Cl_2^* в зависимости от состава смеси He/Cl_2 представлены на рис. 3. Оптимальное содержание хлора находилось в диапазоне 0.6–1.0 кПа. Для стадии однородного тлеющего разряда (когда общее давление смеси не превышало 2 кПа) оптимальное парциальное давление He составляло 0.6–0.7 кПа, а для контрагированного разряда равнялось 6.0 кПа. Яркости полос с максимумами при λ = 258 и 200 нм примерно равны между собой в режиме однородного

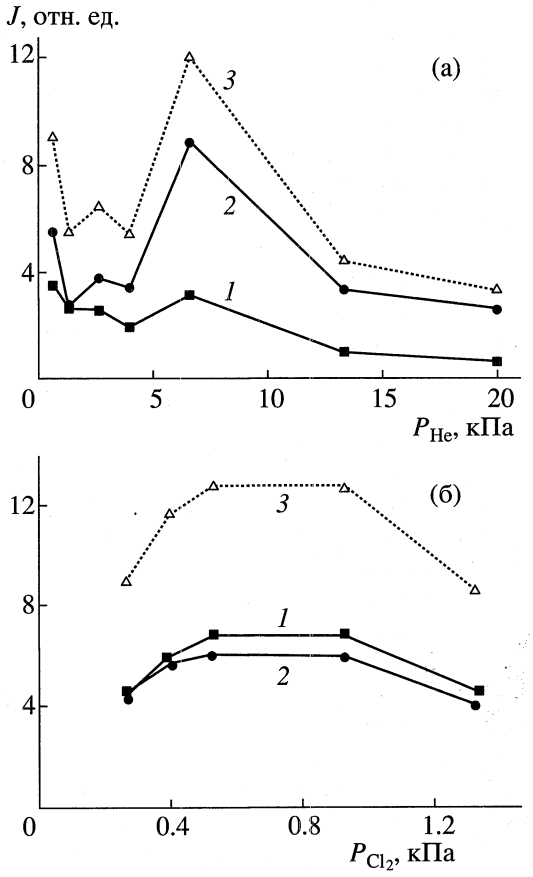

Рис. 3. Зависимость яркости излучения полос с λ = = 200 нм – *1*, 258 нм – *2* и суммарной яркости излучения плазмы на смеси He/Cl_2 в спектральном диапазоне 160–280 нм – *3* от парциального давления He при P_{Cl_2} = 0.2 кПа (а) и Cl_2 при P_{He} = 1.33 кПа (б). I_{ch} = 20 мА.

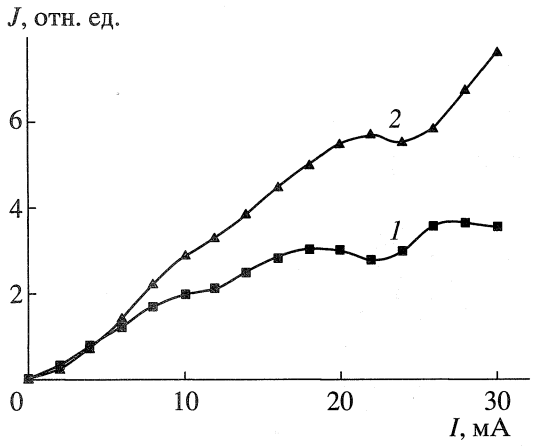

Рис. 4. Зависимость яркости полос с λ = 200 – *1* и 258 нм – *2* от величины тока тлеющего разряда на смеси He/Cl_2 = 4.0/0.2 кПа.

разряда при низких давлениях смеси, а в контрагированном разряде яркость полосы λ = 258 нм в 2.5 раза превышает яркость более коротковолновой полосы. В разряде на смеси He/Cl_2 = 1.33/0.53 кПа зависимость яркости полосы 258 нм от величины разрядного тока была линейной, а для λ = 200 нм яркость выходила на состояние насыщения при $I_{ch} \geq 20$ мА. Зависимости яркости полос излучения молекулы хлора от величины тока при повышенном давлении смеси представлены на рис. 4. При I_{ch} = 20–25 мА наблюдалось скачкообразное изменение состояния разряда, в результате чего яркость полосы 258 продолжала увеличиваться, а яркость полосы с λ = 200 нм выходила на насыщение и уменьшалась.

Величина полной мощности излучения лампы 1.0 Вт в области 160–280 нм достигалась при КПД 2%.

Выводы. Исследование стационарного излучателя низкого давления на переходах молекулы хлора показало, что спектральный диапазон электроразрядных ламп низкого давления на смеси He/Cl_2 может быть расширен до 160 нм, а мощность излучения и КПД увеличены примерно в 2 раза. Для малогабаритного излучателя на системе полос 258/200/195 нм оптимальное парциальное давление хлора находилось в пределах 0.6–1.0 кПа, гелия – 1.0–1.3 кПа. Мощность излучения в диапазоне 160–280 нм достигала 1.0 Вт, а КПД 2% при примерно одинаковых вкладах в суммарную мощность полос λ = 258 и 200/195 нм для низкого давления рабочей смеси (≤2 кПа).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Головицкий А.П., Кан С.Н.* Характеристики ультрафиолетового эксимерного излучения непрерывного тлеющего разряда низкого давления // Оптика и спектроскопия. 1993. Т. 75. Вып. 3. С. 604.
2. *Панченко А.Н., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др.* Мощные коаксиальные лампы со средней мощностью более 100 Вт // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. Вып. 20. С. 77.
3. *Ломаев М.И., Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* Цилиндрические эксилампы с накачкой тлеющим разрядом // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 2. С. 64.
4. *Шуаибов А.К., Шимон Л.Л., Дащенко А.И., Шевера И.В.* Характеристики поперечного объемного разряда в CF_2Cl_2 и смеси Ar/CF_2Cl_2 // ТВТ. 2000. Т. 38. № 3. С. 386.
5. *Эпштейн М.И.* Измерения оптического излучения в электронике. М.: Энергоатомиздат, 1990. 253 с.
6. *Солошенко И.А., Циолко В.В., Хомич В.В. и др.* Применение тлеющего разряда низкого давления для стерилизации медицинских изделий // Физика плазмы. 2000. Т. 26. № 9. С. 845.
7. *Шуаибов А.К., Дащенко А.И.* Электроразрядный эксимерный излучатель на системе полос Cl_2 (258 нм)/ArCl (175 нм) // ПТЭ. 2000. № 3. С. 101.

УДК. 537.217

ПЕРЕНОС ТОКА ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ КАНАЛЕ В СКРЕЩЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

© 2001 г. Л. А. Жиляков, А. В. Костановский

Институт теплофизики экстремальных состояний О ИВТ РАН

Поступило в редакцию 21.01.2000 г.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] экспериментально показано, что при переносе тока термоэлектронной эмиссии в диэлектрическом канале (стеклянной трубке) происходит повышение концентрации электронного газа (т.е. увеличивается параметр взаимодействия γ) в пристенной области вследствие воздействия радиального электрического поля, создаваемого самим потоком электронов. В данной работе экспериментально исследуется процесс переноса тока термоэлектронной эмиссии в диэлектрическом