

02;04;07;12

Образование возбужденных молекул азота в эксимерной лампе с накачкой тлеющим разрядом постоянного тока

© А.К. Шуайбов, Л.Л. Шимон, А.И. Дащенко, И.В. Шевера

Ужгородский национальный университет
E-mail: ishev@univ.uzhgorod.ua

Поступило в Редакцию 17 ноября 2000 г.

Приводятся результаты спектроскопической диагностики плазмы эксимерной лампы на $\lambda = 258 \text{ nm}$ Cl_2 ($D'-A'$) и 175 nm ArCl ($B-X$), работающей на смеси Ar/Cl_2 и возбуждаемой при помощи продольного тлеющего разряда. Показано, что при наличии в рабочей среде малых примесей воздуха ($P \leq 30 \text{ Pa}$) наблюдается образование возбужденных молекул азота, распадающихся с излучением молекулярных полос в области $193\text{--}271 \text{ nm}$. Измерены яркости излучения молекулярных полос азота и эксимеров, определены условия, при которых наблюдается наибольшее влияние азота на оптические характеристики исследуемого разряда.

Эксимерные лампы на хлоридах криптона и ксенона ($\lambda = 222; 308 \text{ nm}$) с накачкой тлеющим разрядом постоянного тока позволяют получать мощность излучения на уровне $10\text{--}20 \text{ W}$ [1,2]. Для создания более коротковолновых излучателей с менее дорогостоящей рабочей средой перспективным является переход к газовым смесям типа Ar/Cl_2 ($\lambda = 258 \text{ nm}$ Cl_2 ($D'-A'$) и 175 nm ArCl ($B-X$)). Это создает предпосылки для перевода эксимерных ламп в проточный режим работы. Рабочие смеси эксимерных излучателей в большинстве случаев готовятся и напускаются в лампу при наличии малых примесей воздуха (при остаточном давлении воздуха $10\text{--}30 \text{ Pa}$), влияние которых на работу эксимерных ламп постоянного тока мало изучено.

В данной статье приводятся результаты исследования излучения плазмы продольного тлеющего разряда в смесях $\text{Ar}/\text{воздух}$ и $\text{Ar}/\text{Cl}_2/\text{воздух}$ в условиях, близких к условиям работы электроразрядных эксимерных ламп низкого давления.

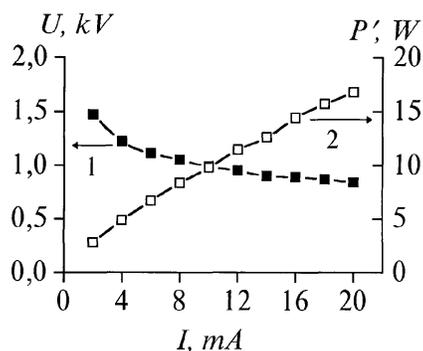


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика (1) и зависимость мощности, вкладываемой в разряд, от величины разрядного тока (2) в смеси $\text{Ag}/\text{воздух} = 6.0/0.013$ кПа;

Тлеющий разряд зажигался в кварцевой или сапфировой трубке с внутренним диаметром 5 мм. Расстояние между цилиндрическим анодом и катодом составляло 100 мм. Для предотвращения катафореза и замены нагретой в разряде смеси торцевые участки разрядной трубки оставались открытыми, а сама трубка помещалась в буферную камеру объемом 10 литров. Камера соединялась с полуметровым вакуумным монохроматором через окно из CaF_2 . Система регистрации излучения была аналогична описанной в наших работах [3,4]. Для получения тлеющего разряда использовался высоковольтный выпрямитель на $U_{ch} \leq 30$ кВ и $I_{ch} \leq 100$ мА. Рабочие смеси готовились в специальном смесителе при остаточном давлении воздуха 0.013 кПа.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) в смеси $\text{Ag}/\text{воздух}$ и зависимость мощности, вкладываемой в разряд от тока, представлены на рис. 1. С ростом величины I_{ch} от 1 до 10 мА напряжение на электродах трубки уменьшалось с 2.0 до 1.0 кВ (стадия поднормального тлеющего разряда [5]), а при более высоких токах разряд переходил в нормальный режим работы. При добавках к данной смеси хлора ($P = 0.1-0.6$ кПа) величина U_{ch} (при токах 1–2 мА) увеличивалась до 3.5–5.0 кВ. Область существования поднормального разряда по величине тока при этом сокращалась до 4–5 мА, а величина U_{ch} в нормальном режиме работы составляла 2.3–2.8 кВ (при $I_{ch} \geq 6$ мА).

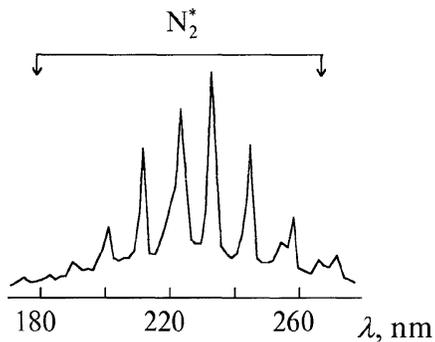


Рис. 2. Спектр излучения продольного тлеющего разряда в смеси $\text{Ar}/\text{воздух} = 4.0/0.013$ кПа; $I_{ch} = 5$ мА.

Спектр излучения тлеющего разряда в аргоне с малой примесью воздуха приведен на рис. 2. Он характеризовался набором узких молекулярных полос с шириной на полувысоте 1.5 нм и оттенением в коротковолновую область длин волн. При аналогичных условиях зажигания разряда в Кг и Хе спектр излучения в данном диапазоне не изменялся, поэтому мы связываем его с наличием в плазме малых примесей воздуха. Расшифровка спектра по данным работ [6,7] показала, что наиболее интенсивные полосы в области 214 – 271 нм (см. таблицу) принадлежат к третьей системе Каплана N_2 ($A^3\Sigma_u^+ - E$), а полосы с $\lambda = 235$ нм к четвертой позитивной системе молекул азота N_2 ($B^3\Pi_g - D^3\Sigma_u^+$). Наблюдается также слабая полоса с $\lambda = 258$ нм Cl_2 ($D' - A'$). Хлор поступал в смесь, вероятно, со стенок разрядной камеры, в которой ранее находились смеси инертных газов с молекулами Cl_2 .

Яркость излучения полос молекулы азота в продольном разряде постоянного тока на смеси $\text{Ar}/\text{воздух} = 4.0/0.013$ кПа при $I_{ch} = 5$ мА

λ , nm	193	204	214	227	235	247	258	273
J/k_λ , a.u.	0.05	0.16	0.28	0.34	0.45	0.32	0.17	0.09

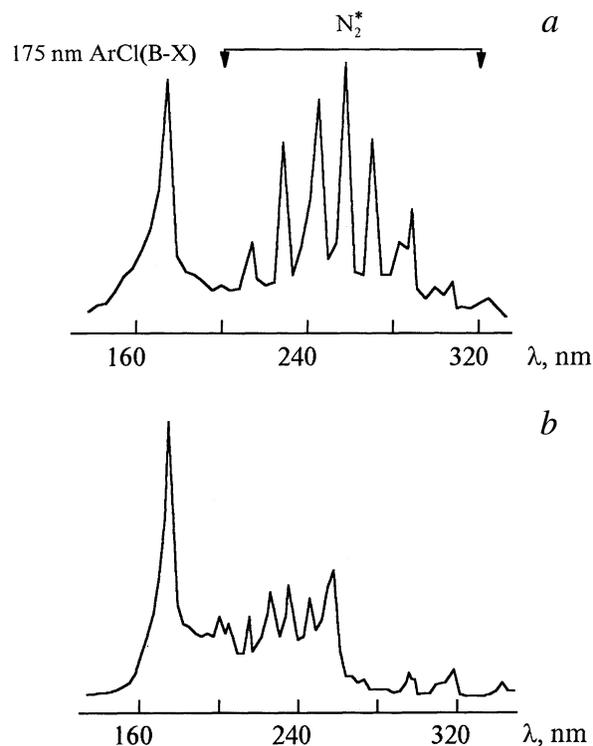


Рис. 3. Спектры излучения продольного тлеющего разряда в смесях $\text{Ar}/\text{Cl}_2/\text{воздух} = 4.0/0.04/0.013$ (а) и $2.9/0.13/0.013$ кПа (б) при $I_{ch} = 5$ мА.

В тлеющем разряде на смеси $\text{Ar}/\text{Cl}_2/\text{воздух}$ при низких концентрациях хлора в смеси ($P \leq 0.4$ кПа) наблюдается одновременное излучение полос 258 nm Cl_2 ($D'-A'$), 175 nm ArCl ($B-X$) и полос молекул азота (рис. 3). С увеличением содержания хлора в смеси ($P \geq 0.2$ кПа) яркость полос азота уменьшается, а их спектральная ширина увеличивается (рис. 3, а). В оптимальных условиях работы эксимерной лампы на системе полос $258/175 \text{ nm}$ ($P_{\text{Ar}} = 2-4$; $P_{\text{Cl}_2} = 0.3-0.5$ кПа; $I_{ch} \leq 30$ мА) средняя мощность излучения в области $170-270 \text{ nm}$ достигала $0.7-1 \text{ W}$ при КПД $3-5\%$.

Таким образом, наибольшее влияние остаточных газов на оптические характеристики эксимерной лампы с $\lambda\lambda = 175/258 \text{ nm}$ проявляется при малом содержании молекул хлора ($P_{\text{Cl}_2} \leq 0.04 \text{ kPa}$) в смеси Ar/Cl₂; тлеющий разряд на смеси Ar/Cl₂ ($P_{\text{Ar}} = 2\text{--}4 \text{ kPa}$; $P_{\text{Cl}_2} = 0.3\text{--}0.5 \text{ kPa}$) является источником излучения на системе полос 258/175 nm с мощностью 0.7–1 W и КПД 3–5%; смеси Ar/Cl₂/воздух могут применяться в эксимерной лампе с прокачкой рабочей смеси и использоваться в фотометрии, химии высоких энергий, биофизике и медицине.

Список литературы

- [1] Головицкий А.П., Кан С.Н. // Оптика и спектроскопия. 1993. Т. 75. В. 3. С. 604–609.
- [2] Головицкий А.П., Лебедев С.В. // Оптика и спектроскопия. 1997. Т. 82. Вып. 3. С. 251–255.
- [3] Шуаибов А.К., Дащенко А.И. // Квантовая электроника. 2000. Т. 30. С. 279–281.
- [4] Шуаибов А.К. // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 25. В. 9. С. 1–6.
- [5] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 582 с.
- [6] Wallace L. // Astrophysical Journal. 1962. V. 4. Suppl. Ser. № 62. P. 445–480.
- [7] Pears R.W.B., Gaydon A.G. // The identification of Molecular Spectra. London: Chapman Hall LTD, 1963.