

04:07:12

©1994 г.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ И ВАКУУМНОУЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ ЭКСИЛАМПЫ С НАКАЧКОЙ БАРЬЕРНЫМ РАЗРЯДОМ

В.С.Скакун, В.Ф.Тарасенко, Е.А.Фомин, А.А.Кузнецов

Институт сильноточной электроники, Сибирское отделение РАН,
634055, Томск, Россия
(Поступило в Редакцию 9 февраля 1994 г.)

Приведены конструкции и результаты экспериментальных исследований плоской и коаксиальных эксиламп, накачиваемых барьерным разрядом. Измерены характеристики спонтанного излучения в аргоне ($\lambda \sim 126$ нм), криптоне ($\lambda \sim 146$ нм) и смесях He(Ne)-Kr-HCl ($\lambda \sim 222$ нм), He(Ne)-Xe-HCl ($\lambda \sim 308$ нм). Проведено сравнение эксиламп, накачиваемых барьерным разрядом, с эксилампой, накачиваемой объемным разрядом с УФ предыонизацией.

Введение

В последние годы значительно возрос интерес к созданию источников мощного спонтанного излучения в ультрафиолетовой (УФ) и вакуумноультрафиолетовой (ВУФ) областях спектра [1-12], которые нашли и могут найти широкое применение в микроэлектронике, экологии, медицине и других областях науки и техники. Для накачки в таких источниках используются различные типы импульсных, импульсно-периодических и непрерывных разрядов. Для эксимерных и эксиплексных ламп, работающих при повышенных давлениях, наилучшие результаты были достигнуты при использовании барьерного разряда [1-4], СВЧ разряда [5,6] и импульсного разряда с УФ предыонизацией [7-11]. Однако в работах [1-4], посвященных изучению источников спонтанного излучения с накачкой барьерным разрядом, как правило, отсутствуют зависимости, показывающие оптимальные условия работы таких источников. Кроме того, в известных работах нет сравнения эффективности эксиламп, накачиваемых барьерным разрядом и импульсным объемным разрядом с УФ предыонизацией.

В данной работе приведены конструкции и результаты экспериментальных исследований плоской и коаксиальных эксиламп, накачиваемых барьерным разрядом, а также сравниваются характеристики эксиламп, накачиваемых барьерным и объемным разрядами.

Исследования проводились на одной плоской эксилампе и двух коаксиальных. Конструкция плоской эксилампы показана на рис. 1, где 1 — сетчатый электрод; 2 — керамическая пластинка, изготовленная из конденсатора КВИ-3 (4700 пФ, 12 кВ), одна обкладка которого была удалена; 3 — выходное окно из кварца или CaF_2 ; 4 — металлический электрод; 5 — газовая камера. Межэлектродный зазор в данной эксилампе равнялся 7 мм. Данная камера при изменении конструкции электрода 4, установки обострительных конденсаторов и искровых промежутков для предыонизации ранее использовалась для получения излучения в УФ и ВУФ областях спектра при накачке плотных газов объемным разрядом [7-11]. Прозрачность сетчатого электрода составляла ~70%, конденсатор C_0 имел емкость 4.2 нФ, а зарядное напряжение могло изменяться от 10 до 35 кВ. На рис. 2 показана конструкция коаксиальной эксилампы с двумя диэлектрическими экранами, расположенными у каждого из электродов, где 1 — внутренний электрод, изготовленный из металлической трубки с внешним диаметром 12 мм; 2 — корпус эксилампы, изготовленный из кварцевых трубок, с внешним диаметром 17 (толщина стенки 2.5 мм) и 41 мм (толщина стенки 3.5 мм); 3 — объем с рабочими газами; 4 — внешний электрод, выполненный в виде спирали с шагом 6 мм и длиной 16 см из медной проволоки диаметром 0.7 мм; 5 — направление потока воды при охлаждении; 6 — патрубков для подачи и откачки рабочих смесей. Межэлектродный зазор в данной эксилампе (зазор между внешним диаметром внутренней кварцевой трубки и внутренним диаметром внешней) составлял 8.5 мм. Нами также использовалась коаксиальная эксилампа, в которой использовался один диэлектрический экран. Конструкция лампы была

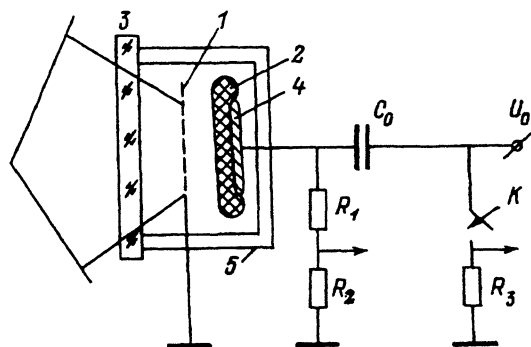


Рис. 1. Плоская эксилампа с накачкой барьерным разрядом.
 K — коммутатор, C_0 — конденсатор, R_1-R_3 — делитель напряжения и токовый шунт.

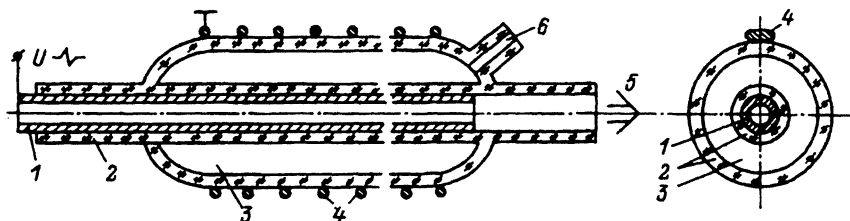


Рис. 2. Коаксиальная эксилампа с двумя цилиндрическими стенками, накачиваемая коаксиальным разрядом.

подобна показанной на рис. 2. Только внутренняя кварцевая трубка отсутствовала, а внешний диаметр металлического электрода l равнялся 20 мм. В этом случае межэлектродный промежуток равнялся 7 мм. Для накачки обеих коаксиальных ламп применялся тот же генератор, что и для плоской (рис. 1). Отметим, что конструкции данных эксиламп были подобны плоским и коаксиальным эксилампам, которые использовались ранее в [1-4], и отличались только размерами.

Спектральные характеристики излучения измерялись с помощью вакуумного монохроматора ВМР-2 и спектрографа ИСП-30. ВУФ излучение на входе ВМР-2 преобразовывалось с помощью салициловокислого натрия и регистрировалось ФЭУ-140 с выводом сигнала на осциллограф С8-14. Амплитудно-временные характеристики излучения в области 200-400 нм определялись с помощью калиброванного фотодиода ФЭК-22, сигнал с которого также подавался на осциллограф С8-14. При исследованиях спонтанного излучения в области 140-200 нм в плоской эксилампе использовалось выходное окно из CaF_2 , а при $\lambda < 140$ нм измерения проводились без выходного окна. Рабочие смеси готовились непосредственно в эксилампах. При работе в ВУФ области спектра тракт между эксилампой и монохроматором откачивался или заполнялся рабочим газом. Измерения проводились как в режиме однократных импульсов, так и в импульсно-периодическом режиме с частотой повторения до 50 с^{-1} .

Результаты и их обсуждение

В данной работе исследовались характеристики излучения в аргоне, криптоне, смесях Ne-Ar , He(Ne)-Kr-HCl и He(Ne)-Xe-HCl при использовании плоской эксилампы, и в двух последних смесях при использовании коаксиальных эксиламп. Излучение димеров аргона и криптона полностью поглощалось стенками из кварца коаксиальной эксилампы. Некоторые из полученных результатов приведены на рис. 3-6. В аргоне (рис. 3) и в смеси Ne-Ar (рис. 4) наблюдается излучение димера аргона на $\lambda \sim 126$ нм. Интенсивность излучения с ростом давления аргона вначале увеличивается, а затем уменьшается (рис. 3). Характер разряда при этом монотонно изменяется. При низких давлениях разряд носит объемный характер, затем при увеличении давления появляется большое количество тонких каналов. Число каналов с

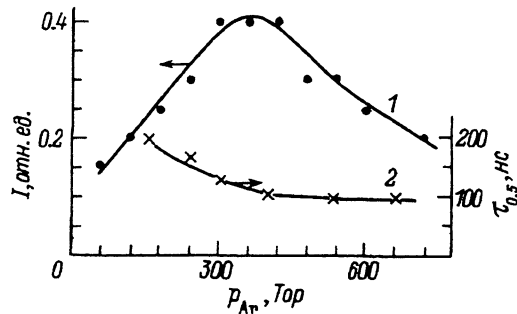


Рис. 3. Зависимости интенсивности излучения на $\lambda \sim 126$ нм (1) и длительности импульса на полувысоте (2) от давления аргона в плоской эксилампе ($U_0 = 30 \text{ кВ}$).

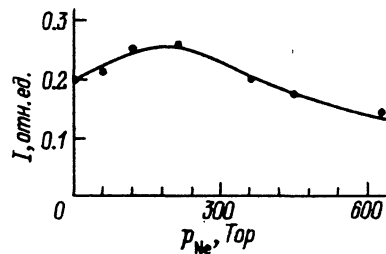


Рис. 4. Зависимости интенсивности излучения на $\lambda \sim 126$ нм от давления добавок неона к аргону. $U_0 = 30 \text{ кВ}$, $P_{\text{Ar}} = 120 \text{ Тор}$, плоская эксилампа.

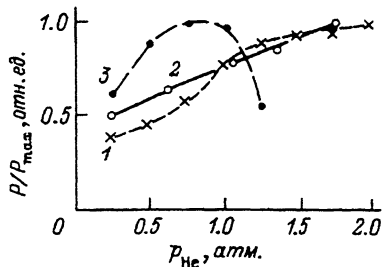


Рис. 5. Зависимости мощности излучения в смесях $\text{He}:\text{Kr}:\text{HCl} = \text{P}_{\text{He}}:45 \text{ Тор}:3 \text{ Тор}$ (1,3) и в смеси $\text{He}:\text{Xe}:\text{HCl} = \text{P}_{\text{He}}:12 \text{ Тор}:3 \text{ Тор}$ (2) от давления гелия $U_0 = 30 \text{ кВ}$.

1,2 — коаксиальная лампа с двумя диэлектрическими экранами; 3 — коаксиальная лампа с одним диэлектрическим экраном.

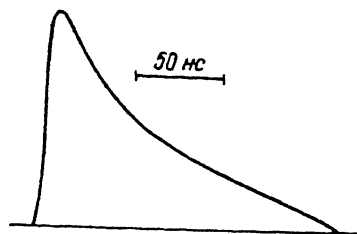


Рис. 6. Осциллограмма импульса излучения на $\lambda \sim 308 \text{ нм}$ в смеси $\text{He}:\text{Xe}:\text{HCl} = 1.25 \text{ атм}:9 \text{ Тор}:3 \text{ Тор}$.

Коаксиальная эксиллампа с одним диэлектрическим экраном. $U_0 = 30 \text{ кВ}$.

ростом давления уменьшается, а их яркость увеличивается. При давлении $\gtrsim 500 \text{ Тор}$ остается небольшое количество ярко светящихся каналов. Оптимальное давление в аргоне при использовании для накачки барьерного разряда оказалось на $\sim 20\%$ выше, чем в экспериментах с импульсным объемным разрядом [10,11]. Однако интенсивность излучения и длительность импульса при этом уменьшились. Например, длительность импульса в аргоне и криптона при накачке объемным разрядом составляла $\sim 500 \text{ нс}$, а при накачке барьерным разрядом составила соответственно 100 и 300 нс. Добавки легких буферных газов к аргону и криптону, как и при накачке объемным разрядом [10,11], давали увеличение интенсивности излучения при начальных давлениях рабочего газа ниже оптимального (рис. 4). В криптона длина волны излучения составляла $\sim 146 \text{ нм}$.

На рис. 5 приведены зависимости мощности излучения на $\lambda \sim 222$ (смеси $\text{He}-\text{Kr}-\text{HCl}$) и 308 нм (смесь $\text{He}-\text{Xe}-\text{HCl}$) от давления буферного газа гелия при накачке барьерным разрядом коаксиальных эксилламп. На лампе с одним диэлектрическим экраном оптимальное давление рабочих смесей составляло 0.8–1.2 атм в зависимости от используемых смесей (например, кривая 3 на рис. 5). При проведении экспериментов на лампе с двумя диэлектрическими экранами (рис. 2) оптимальное давление возрастало (рис. 5, 1 и 2). Это связано с экранировкой диэлектриком обоих электродов и с уменьшением удельного энергозатрата при тех же зарядных напряжениях. При увеличении от 15 до 35 кВ зарядного напряжения конденсатора C_0 (рис. 1) для всех эксилламп наблюдался практически линейный рост мощности излучения. Характерная осциллограмма импульса излучения для смеси $\text{He}-\text{Xe}-\text{HCl}$ приведена на рис. 6, длительность импульса излучения на полувысоте составляет $\sim 50 \text{ нс}$. В смесях $\text{He}(\text{Ne})-\text{Kr}-\text{HCl}$ форма импульса излучения была подобной полученной при длительности импульса излучения на полувысоте $\sim 40 \text{ нс}$. Мощность и эффективность излучения на эксиплексных молекулах цилиндрической эксиплексной лампы были также меньше, чем у эксилампы, накачиваемой объемным разрядом. По-видимому, основной причиной больших эффективностей излучения эксилламп, накачиваемых объемным разрядом, является его однород-

ность. Это дает оптимальные условия накачки по всему разрядному объему и определяет более эффективный вывод излучения из возбуждаемого объема. При накачке барьерным разрядом энерговклад распределен очень неравномерно. Основная энергия вводится в тонкие каналы, имеющие диаметр $\lesssim 0.5$ мм, которые равномерно распределены по сечению разрядного промежутка и хаотически перемещаются, а излучение выходит в основном через боковые стенки этих каналов. Отметим, что распространение спонтанного излучения от плоской эксилампы, накачиваемой объемным разрядом, исследовалось в [8].

Заключение

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований ВУФ и УФ излучения, получаемого на плоской и коаксиальных эксилампах при накачке барьерным разрядом. В аргоне и смеси Ne-Ar получено излучение на $\lambda \sim 126$ нм, в криптоне на $\lambda \sim 146$ нм, в смесях He(Ne)-Kr-Ne на $\lambda \sim 222$ нм и в He(Ne)-Xe-Ne на $\lambda \sim 308$ нм. Максимальная импульсная мощность излучения в данных экспериментах составила ~ 30 кВт на $\lambda \sim 308$ нм. Сравнение эксилмп, накачиваемых барьерным и объемным разрядами, показало, что эффективность излучения в ВУФ и УФ областях спектра выше при накачке импульсным объемным разрядом с УФ предыонизацией.

Список литературы

- [1] Волкова Г.А., Кириллова Н.Н., Павловская Е.Н., Яковлева А.В. // ЖПС. 1984. Т. 41. № 4. С. 691-695.
- [2] Eliasson B., Kogelschatz U. // Appl. Phys. B. 1988. Vol. B46. P. 299-303.
- [3] Kogelschatz U., Esrom H. // Laser und Optoelektronik. 1990. Vol. 22. N 4. P. 55-59.
- [4] Eliasson B., Kogelschatz U. // IEEE Trans. on Plasma Sci. 1991. Vol. 19. N 2. P. 309-323.
- [5] Kumagai H., Obara M. // Appl. Phys. Lett. 1989. Vol. 54. N 26. P. 2619-2621.
- [6] Kumagai H., Obara M. // Appl. Phys. Lett. 1989. Vol. 55. N 15. P. 1583-1584.
- [7] Коваль Б.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф. и др. // ПТЭ. 1992. № 4. С. 244-245.
- [8] Boichenko A.M., Skakun V.S., Tarasenko V.F. et al. // Laser Phys. 1993. Vol. 3. N 4. P. 838-843.
- [9] Бойченко А.М., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А., Яковленко С.И. // Квантовая электроника. 1993. Т.20. № 1. С. 7-30.
- [10] Кузнецов А.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. Вып. 5. С. 1-5.
- [11] Кузнецов А.А., Скакун В.С., Тарасенко В.Ф., Фомин Е.А. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. № 6. С. 694-698.
- [12] Gochelashvily K.S., Dem'yanov A.V., Kochetov I.V., Yangurazova L.R. // Optics Commun. 1992. Vol. 91. N 1. P. 66-70.