

04;07;12

KrCl и XeCl эксилампы с мощностью излучения ~ 1.5 kW, возбуждаемые тлеющим разрядом

© В.С. Скакун, М.И. Ломаев, В.Ф. Тарасенко, Д.В. Шитц

Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск

E-mail: VFT@loi.hcei.tsc.ru

Поступило в Редакцию 31 мая 2002 г.

Создана мощная многосекционная цилиндрическая эксилампа, в которой используется излучение тлеющего разряда. Исследованы энергетические, временные и спектральные характеристики излучения на молекулах KrCl^* ($\lambda \sim 222$ nm) и XeCl^* ($\lambda \sim 308$ nm). Получены средние мощности излучения в УФ-области спектра 1.6 kW на $\lambda \sim 222$ nm и 1.1 kW на $\lambda \sim 308$ nm при эффективности от вложенной энергии до 14%.

1. В работах [1–4] мы сообщали о создании коаксиальных и цилиндрических KrCl и XeCl эксиламп, возбуждаемых стационарным тлеющим разрядом, со средней мощностью излучения в ультрафиолетовой (УФ) области спектра 100–200 W. Данный тип разряда для накачки цилиндрических эксиламп был впервые применен в [5,6]. В кварцевой трубке при возбуждении смеси криптона и ксенона с галогеном Cl_2 соответственно на молекулах XeCl^* и KrCl^* были получены средняя мощность излучения ~ 8 W и КПД до 12%. Исследование режимов возбуждения тлеющим разрядом [7] показало, что максимальные эффективности излучения эксиламп достигаются при использовании импульсного напряжения миллисекундной длительности и определенной формы. В [8] было показано, что максимальные мощности излучения реализуются при добавках легких инертных газов (гелия, неона) к смесям $\text{Kr}(\text{Xe})\text{-Cl}_2$. Источники спонтанного излучения на основе эксиплексных молекул (эксилампы) излучают в сравнительно узкие УФ- и ВУФ-полосы и могут найти широкое практическое применение в различных областях науки и техники.

В данной работе впервые сообщается о создании KrCl ($\lambda \sim 222$ nm) и XeCl ($\lambda \sim 308$ nm) эксиламп тлеющего разряда со средней мощно-

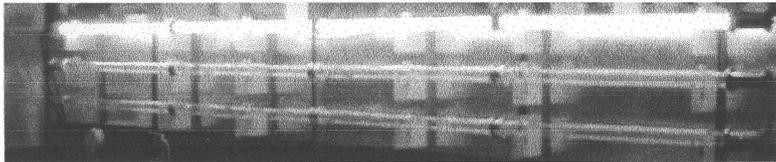


Рис. 1. Фотография излучателя эксилампы с одной включенной ветвью.

стью излучения более 1 kW. Источником излучения служила плазма положительного столба тлеющего разряда в цилиндрических трубках. Мощность излучения разработанной KrCl или XeCl и эксилампы на порядок превышает полученную ранее.

2. Фотография (конструкция) излучателя эксилампы приведена на рис. 1. Излучатель состоял из трех параллельных ветвей, каждая из которых включает четыре секции (всего 12 секций) из цилиндрических кварцевых трубок с толщиной стенки 2,5 mm. Размеры одной секции эксилампы: длина ~ 100 cm, внешний диаметр 52 (одна ветвь) или 56 (две ветви) mm. На каждую ветвь эксилампы напряжение подавалось от отдельного высоковольтного источника, и каждая секция (при шунтировании остальных секций), и каждая ветвь могли включаться независимо от других. Для данной эксилампы применялось воздушное охлаждение. Замена воздушного охлаждения на водяное уменьшает габариты эксилампы, но существенно усложняет конструкцию излучателя. Источники питания состояли из трансформатора и регулятора напряжения. Источники имели мощность до 7 kW и выдавали синусоидальное напряжение промышленной частоты (50 Hz) с амплитудой до 20 kV, величина напряжения могла плавно изменяться. Данная конструкция излучателя и система питания, по-видимому, являются наиболее простыми для достижения средней мощности излучения 1 kW и более.

Мощность излучения определялась калиброванным фотоприемником ФЭК-22 СПУ, который поочередно перемещался вдоль каждой из ветвей эксилампы. Регистрация импульсов тока, напряжения, а также временной ход импульсов излучения осуществлялись соответственно с помощью токовых шунтов, делителей напряжения, ФЭК-22 СПУ и осциллографа TDS-224. Свечение разряда фотографировалось с помощью

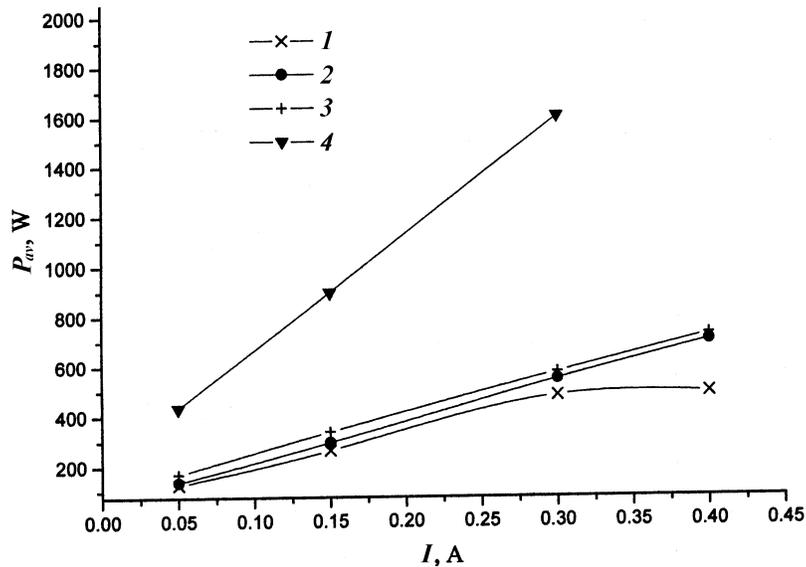


Рис. 2. Зависимости средней мощности излучения молекул $KrCl^*$ от тока разряда для ветвей эксилампы, изготовленных из кварцевых трубок диаметром 52 мм (1) и 56 мм (2, 3), а также при включении всего излучателя (4). Смесь $He:Kr:Cl_2 = 2 : 5 : 1$ при начальном давлении 0.3 мм Hg.

цифрового фотоаппарата. Рабочие смеси, состоящие из криптона или ксенона, молекулярного хлора и гелия (в случае применения добавок) готовились непосредственно в излучателе эксилампы.

3. Были проведены исследования работы отдельной секции, отдельных ветвей эксилампы и эксилампы в целом. На рис. 2 показаны зависимости мощности излучения от разрядного тока при работе каждой ветви $KrCl$ эксилампы, а также полной мощности излучения. Более высокие мощности излучения достигались при использовании кварцевых трубок с внешним диаметром 56 мм. При испытании отдельной ветви из четырех секций была получена средняя мощность излучения на длине волны ~ 222 нм 0.7 кВт при КПД от вложенной мощности $\sim 12\%$ (диаметр трубок равнялся 56 мм). При одновременном включении всех трех ветвей средняя мощность излучения составила 1.6 кВт, а КПД был

более 10%. При работе эксилампы из-за большой мощности излучения и большой концентрации озона и окислов азота было необходимо принимать меры для защиты персонала.

При замене криптона на ксенон пробивное напряжение и сопротивление газоразрядной плазмы увеличивались, что уменьшало среднюю мощность накачки. Это происходило из-за сравнительно малого максимального напряжения источников питания. Поэтому максимальная средняя мощность излучения на молекулах XeCl* была меньше, чем на молекулах KrCl*, и составила 1.1 kW. Средняя мощность излучения одной ветви с кварцевыми трубками диаметром 56 mm составила 0.4 kW, а с трубками диаметром 52 mm 0.3 kW. Максимальная эффективность излучения достигалась при малых токах разряда как в двойных, так и в тройных смесях и составила для KrCl эксилампы ~ 20% и для XeCl эксилампы ~ 15%. Рабочие давления смесей данной эксилампы были более низкими по сравнению с используемыми в работах [3,4]. Причина — более низкие напряжения источников питания на единицу длины излучателя. При увеличении плотности тока разряда максимальные средние мощности излучения на обеих молекулах достигались при использовании тройных смесей с добавками легких инертных газов. Полученные параметры для данного излучателя не являются предельными и могут быть увеличены при использовании более мощных и высоковольтных источников питания, увеличении рабочего давления смеси, а также улучшении охлаждения кварцевых трубок и электродов. Отметим, что катодное и анодное падение потенциала регистрировалось только на концах отдельных ветвей в крайних секциях, а в центральных секциях наблюдался положительный столб тлеющего разряда.

На рис. 3 приведены осциллограммы излучения, тока и напряжения для одной ветви, а также расчетная кривая мощности возбуждения. Как мы отмечали, для возбуждения использовалось переменное напряжение от трансформатора, подключенного к промышленной сети. Видно, что импульсы излучения соответствуют по длительности импульсам тока и не зависят от полярности импульсов тока. Спектр излучения эксилампы является типичным для эксиламп, возбуждаемых тлеющим разрядом. Основная мощность сосредоточена в полосе В-Х (> 70% мощности).

4. Таким образом, нами создана мощная цилиндрическая эксилампа, возбуждаемая тлеющим разрядом, и проведено исследование ее

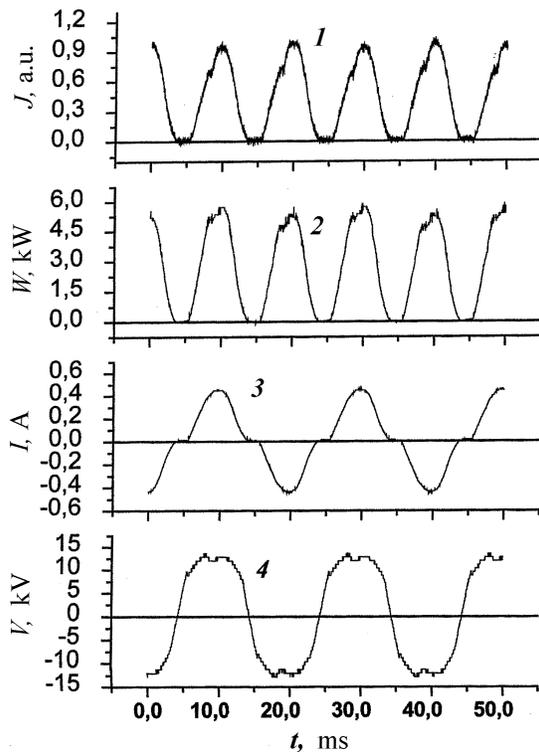


Рис. 3. Типичные осциллограммы излучения молекул KrCl^* (1), тока разряда (3), напряжения (4) и расчетная кривая мощности возбуждения (2) для одной ветви эксилампы. Смесь $\text{Kr} : \text{Cl}_2 = 5 : 1$ при начальном давлении 0.3 mm Hg.

характеристик накачки и излучения на молекулах KrCl^* и XeCl^* . Впервые на данных молекулах получена средняя мощность излучения в УФ-области, превышающая один киловатт. Данная эксилампа может быть использована для получения мощного спонтанного излучения на переходах других атомов и молекул.

Авторы выражают глубокую благодарность LLNL (контракт B5066095) и МНТЦ (проект № 1270) за поддержку данной работы.

Список литературы

- [1] *Панченко А.Н., Соснин Э.А., Скакун В.С.* и др. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 21. С. 47–51.
- [2] *Lomaev M.I., Panchenko A.N., Skakun V.S.* et al. // Laser and Particle Beams. 1998. V. 15. N 2. P. 241–246.
- [3] *Ломаев М.И., Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* // ЖТФ. 1998. Т. 68. В. 2. С. 64–68.
- [4] *Panchenko A.N., Sosnin E.A., Tarasenko V.F.* // Opt. Comm. 1999. V. 166. P. 249–252.
- [5] *Головицкий А.П.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 8. С. 73–76.
- [6] *Головицкий А.П., Кан В.С.* // Оптика и спектроскопия. 1993. Т. 75. В. 3. С. 604–609.
- [7] *Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* Способ накачки лампы тлеющего разряда. Патент РФ № 2089971, приоритет 16.10.1995. Опубликовано 10.09.1997. Бюл. № 25. С. 352.
- [8] *Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.* Рабочая среда лампы тлеющего разряда низкого давления. Патент РФ № 2089962, приоритет 26.12.1995. Опубликовано 10.09.1997. Бюл. № 25. С. 350.