

В.С. Скакун, В.Ф. Тарасенко, Д.В. Шитц

Ксеноновая эксилампа, возбуждаемая от трансформатора и индуктивного накопителя энергии

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 29.12.2001 г.

Исследованы ксеноновые эксилампы, излучающие в ВУФ-области спектра с высокой эффективностью. Показано, что однокатодная эксилампа по сравнению с двухкатодной, при прочих равных условиях, работает при более низких напряжениях зажигания разряда и имеет более высокие оптимальные давления. Впервые продемонстрирована работа эксилампы при накачке от высокочастотного бестрансформаторного генератора возбуждения с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока при частоте повторения импульсов 100 кГц.

В работах [1–3] было показано, что ксеноновая эксилампа ($\lambda \sim 172$ нм) при возбуждении короткими импульсами имеет высокую эффективность излучения. Применение однокатодной эксилампы с внутренним спиральным электродом позволило при накачке от однополярных импульсов получить эффективность излучения димеров ксенона $\sim 40\%$ [1, 2]. При использовании эксилампы с двумя катодами сравнительно коротких длительностей импульсов возбуждения также была получена высокая эффективность излучения [3]. Цель эксперимента, описанного в данной статье, заключалась в сравнении напряжений зажигания и рабочих давлений ксеноновых эксиламп с одним и двумя катодами, а также в апробировании бестрансформаторных систем возбуждения с индуктивным накопителем энергии. Ранее подобная схема возбуждения использовалась для получения импульсного разряда с частотой следования импульсов 12 кГц [4].

Конструкции эксиламп были традиционными [1–3, 5]. Однокатодная эксилампа [1, 2] была изготовлена из кварцевой трубки с внешним диаметром 30 мм, внутри которой был вставлен внутренний электрод в виде спирали с шагом 6 мм. Спираль представляла собой проволоку, изготовленную из нержавеющей стали. Внешний диаметр спирали равнялся 8 мм, а толщина проволоки 0,9 мм. Двухкатодная коаксиальная эксилампа [5] состояла из двух кварцевых трубок. Внешняя трубка имела внешний диаметр 30 мм и толщину стенок 1 мм, внутренняя – внешний диаметр ~ 11 мм. Во внутреннюю кварцевую трубку вставлялся электрод в виде спирали с внешним диаметром 8 мм. Длина электродов на внешних трубках обеих эксиламп равнялась 40 мм, электроды были выполнены из металлической сетки с прозрачностью более 90%. Давление ксенона в эксилампах могло изменяться (ксенон содержал примеси менее 0,002%).

Для возбуждения эксиламп применялись два генератора с трансформатором и без. Электрическая

схема высокочастотного традиционного генератора с использованием трансформатора и коммутаторов-транзисторов описана в [6]. Генератор формировал импульсы напряжения с частотой повторения 10–100 кГц, амплитудой до 5 кВ и длительностью 2 мкс. Схема с индуктивным накопителем энергии была подобна описанной в [7]. Однако в качестве коммутаторов были использованы транзисторы и зарядное напряжение было уменьшено до 300 В. Второй генератор формировал импульсы напряжения с амплитудой до 3,5 кВ. Частота следования импульсов составляла 10–100 кГц, а длительность импульса напряжения на полувывоте 0,15–0,3 мкс (рис. 1).

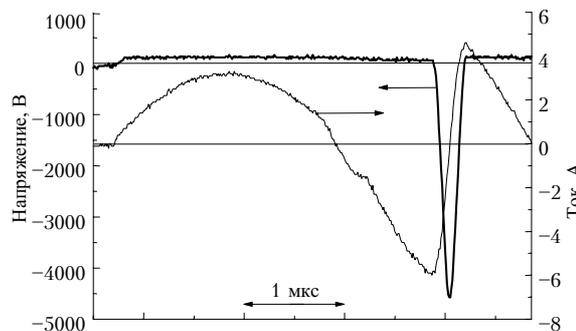


Рис. 1. Осциллограммы импульсов тока через полупроводниковый прерыватель тока и напряжения на нагрузке при частоте следования импульсов 100 кГц и зарядном напряжении конденсатора 300 В

Напряжения и токи измерялись омическими делителями и шунтами, сигналы с которых направлялись на осциллограф TDS-220. Излучение димеров ксенона (максимум на длине волны 172 нм) выводилось через стенки внешней трубки эксилампы, выполненной из кварца типа Suprasil, с помощью специального фильтра преобразовывалось в УФ-диапазон и регистрировалось калиброванным фотодиодом ФЭК-22, сигнал с которого подавался на цифровой вольтметр Ф298-3.

Основные результаты приведены на рис. 2, 3. При использовании однобарьерной эксилампы напряжение пробоя уменьшается в 2–3 раза (при прочих равных условиях). Так, при длительности импульса напряжения 2 мкс на однобарьерную эксилампу для зажигания разряда достаточно было подать напряжение 2–2,5 кВ, а на двухбарьерную – не менее 4,5 кВ.

На рис. 2 приведены зависимости мощности излучения в ВУФ-области спектра от давления ксенона. Оптимальное давление для однобарьерной эксилампы даже при более низком напряжении, подаваемом от генератора, было выше.

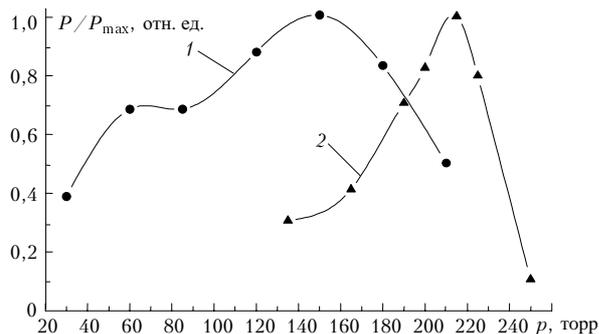


Рис. 2. Зависимости средней мощности излучения Xe_2^* от давления ксенона для двухбарьерной (1) и однобарьерной (2) эксиламп

На рис. 3 приведены зависимости средней мощности излучения в ВУФ-области спектра от средней мощности возбуждения при различных частотах повторения. Видно, что максимальные эффективности

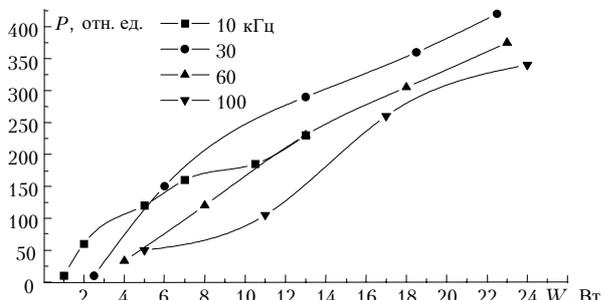


Рис. 3. Зависимости средней мощности излучения Xe_2^* от мощности накачки при различных частотах повторения импульсов для однобарьерной эксилампы при длительности импульса напряжения 2 мкс

излучения достигаются при частоте 10 кГц (при мощности накачки до 4 Вт) и при частоте 30 кГц (при мощности накачки от 5 до 25 Вт). Это связано с условиями формирования объемного разряда. Объемный характер разряда является обязательным условием достижения высоких эффективностей излучения ксеноновой эксилампы.

При длительности импульса $\sim 0,2$ мкс (бестрансформаторный генератор с индуктивным накопи-

телем) вкладываемая в газ мощность из-за сокращения длительности импульса при одинаковых частотах уменьшалась. Однако сокращение длительности импульса возбуждения, как правило, облегчает формирование объемного разряда. Наибольшие эффективности излучения, реализованные в наших экспериментах, по проведенным оценкам соответствовали эффективностям излучения димеров ксенона в ВУФ-области спектра, которые были получены в [1–3] на однобарьерной и двухбарьерной эксилампах.

Таким образом, на основании ксеноновых эксиламп, излучающих в ВУФ-области спектра с высокой эффективностью, показано, что однобарьерная эксилампа по сравнению с двухбарьерной, при прочих равных условиях, работает при более низких напряжениях давления. Впервые продемонстрирована работа эксиламп при накачке от высокочастотного бестрансформаторного генератора возбуждения с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока при частоте повторения импульсов 100 кГц.

Авторы благодарят Э. Арнольда (Компания HERAEUS) за предоставленные эксилампы и С.Н. Рукина за разработку полупроводниковых прерывателей тока.

Работа поддержана МНТЦ (проект № 1270) и LLNL, США (контракт MSA B5066595).

1. *Vollkommer F., Hitzschke L.* Dielectric barrier discharge // Proc. of the 8th Int. Symp. on Science & Technology of Light Sources. Greifswald, Germany, 30.08–3.09. 1998. P. 51–60.
2. *Hitzschke L., Vollkommer F.* Product families based on dielectric barrier discharges // Proc. of the 9th Int. Symp. on Science & Technology of Light Sources. Ithaca, USA, 12.08–16.08. 2001. P. 411–421.
3. *Mildren R.P., and Carman R.J.* Enhanced Efficiency from a Xe Excimer Barrier Discharge Lamp Employing Short-Pulsed Excitation // J. Phys. D. 2001. V. 34. P. L1–L6.
4. *Костыря И.Д., Тарасенко В.Ф.* О возможности применения генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока для накачки лазеров на парах металлов // Оптика атмосфер. и океана. 2001. Т. 14. № 8. С. 722 – 724.
5. *Tarasenko V.F., Erofeev M.V., Lomaev M.I., Panchenko A.N., Shitz D.V., Skakun V.S., Sosnin E.A.* High power UV and VUV excilamps // Proc. Int. Conf. LASERS'2000: STS Press. McLEAN, VA, USA, 2001. P. 21–28.
6. *Lomaev M.I., Shitz D.V., Skakun V.S., Tarasenko V.F.* Influence of excitation of pulse form on barrier discharge excilamps efficiency // Proc. of the 9th Int. Symp. on Science & Technology of Light Sources. Ithaca, USA, 12.08 – 16.08. 2001. P. 435–436.
7. *Бакут Е.Х., Визирь В.А., Куниц С.Э., Орловский В.М., Панченко А.Н., Рукин С.Н., Тарасенко В.Ф.* Накачка импульсных лазеров с продольным разрядом от генератора с индуктивным накопителем энергии и полупроводниковым прерывателем тока // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 3. С. 243–249.

V.S. Skakun, V.F. Tarasenko, D.V. Shitz. Xe excilamp excited by a transformer and an inductive energy storage.

In this paper, the Xe excilamps operating in the VUV spectral region with a high efficiency were studied. It has been shown that the one-barrier excilamp in reference to the two-barrier one at other equal conditions operates at much lower discharge triggering voltages and has much higher optimal pressures. For the first time, operation of the excilamp at pumping by a high frequency excitation generator without transformer was demonstrated. In that generator we used inductive energy storage and semiconductor opening switch. We obtained a pulsed repetition rate of 100 kHz.

Ксеноновая эксилампа, возбуждаемая от трансформатора и индуктивного накопителя энергии