

А.А. Лисенко, М.И. Ломаев, В.Ф. Тарасенко

I₂-лампа емкостного разряда

Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 8.01.2004 г.

Представлены результаты исследования энергетических и спектральных характеристик излучения йодной лампы емкостного разряда в УФ-области спектра при варьировании давления и вводимой мощности. Созданный источник света на атомарных переходах йода, возбуждаемый емкостным разрядом низкого давления, может восполнить недостаток источников спонтанного излучения в спектральном диапазоне 180–210 нм.

Введение

К настоящему времени созданы различные источники спонтанного излучения с широкой гаммой спектральных и энергетических характеристик. Внимание при разработке и исследовании источников спонтанного излучения в УФ- и ВУФ-областях спектра сосредоточено преимущественно на эксимерных лампах барьерного разряда высокого давления, в которых используется излучение эксимерных или оксиплексных молекул [1–6 и др.]. Имеются также интенсивные источники излучения низкого давления, излучающие на атомарных линиях в УФ- и ВУФ-областях спектра. Среди них — ртутная лампа низкого давления на резонансных линиях 185 и 253 нм с удельной мощностью излучения ~10 мВт/см² [7]. Относительно низкие интенсивности в коротковолновой области спектра можно получить с помощью дейтериевой лампы на атомарной линии 121,5 нм и континуального излучения с максимумом вблизи 161 нм. Еще более низкие потоки излучения ~4–7 мВт/см² могут быть получены на резонансных линиях аргона (107 нм), криптона (124 нм) и ксенона (147 нм), возбуждаемых разрядом низкого давления [8]. Поиск новых сред, расширяющих спектральный диапазон и энергетические параметры источников излучения в УФ- и ВУФ-областях спектра, является сейчас актуальной задачей. Одной из перспективных рабочих сред с этой точки зрения являются пары йода или их смесь с инертными газами. Изучению спектральных и мощностных характеристик излучения разряда в I₂ посвящено сравнительно немного работ [9–13]. Как правило, для возбуждения рабочей среды использовался тлеющий разряд, в условиях которого имеется контакт паров йода с металлом электродов, что сокращает ресурс и затрудняет обеспечение стабильного режима работы лампы.

Целью настоящей работы было изучение спектральных и энергетических параметров емкостного разряда низкого давления в парах йода.

1. Экспериментальная установка и методики

Емкостной разряд в I₂ получали в цилиндрической трубке длиной 30 см и внутренним диаметром 4 см с запаянными торцами и наложенными снаружи на стенки кольцевыми электродами шириной 3 см, к которым прикладывалось переменное напряжение частотой 100 кГц. Средняя мощность генератора варьировалась в диапазоне 10–90 Вт. Разрядная трубка была изготовлена из кварца высокого качества с пропусканием в области 200 нм ~80%. На одном из торцов трубки располагался контейнер с йодом в твердой фазе.

Расстояние от кольцевого электрода до контейнера при данной вводимой мощности определяло температуру контейнера, а следовательно, давление насыщенных паров I₂ в колбе, которое не превышало 15 торр. Общий вид разряда при этом напоминал по форме тлеющий разряд. Спектры излучения регистрировались вакуумным монохроматором VM-502. Измерение интенсивности излучения проводилось калиброванным фотодиодом ФЭК-22 СПУ по методике, описанной в [14]. При этом излучаемая мощность рассчитывалась во всем спектре от 200 до 650 нм, т.е. во всей области спектральной чувствительности ФЭК. Энерговклад в среду определяли по методике, описанной в [15]. Эффективность излучения лампы рассчитывалась как отношение излучаемой мощности к мощности, вводимой в среду. Температура токового канала рассчитывалась путем решения уравнения теплопроводности [16].

2. Результаты и обсуждение

На рис. 1–2 представлены зависимости выходной мощности и эффективности при варьировании мощности возбуждения и давления паров I₂. Обнаружено, что при увеличении вводимой мощности от 35 до 60 Вт (2–9 Вт/см³) мощность излучения

растет линейно от 2 до 3 Вт (6–10 мВт/см²) и эффективность при этом остается постоянной. При мощности возбуждения ~30 Вт и давлении паров йода ~0,5 торр разряд имеет диффузный характер. По мере увеличения мощности возбуждения до 60 Вт и давления паров йода до 2,5 торр наблюдается сужение токового канала, и в дальнейшем разряд контрагирует. При этом радиус токового канала уменьшается от 8 до 2,7 мм и температура паров I₂ в центре канала изменяется от 180 до 280 °С (рис. 3).

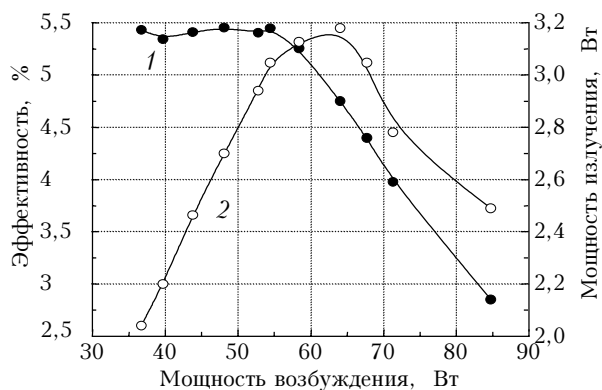


Рис. 1. Эффективность излучения (1) и мощность излучения (2) лампы в зависимости от мощности возбуждения

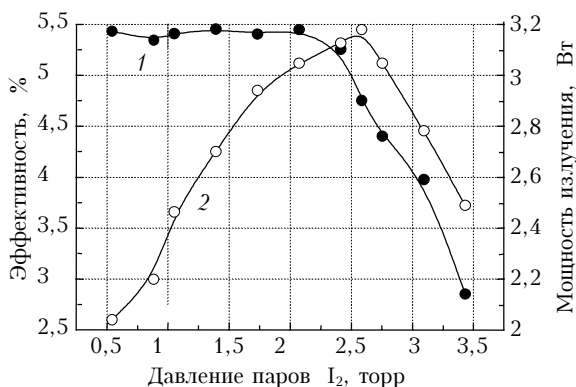


Рис. 2. Эффективность излучения (1) и мощность излучения (2) лампы в зависимости от давления паров йода

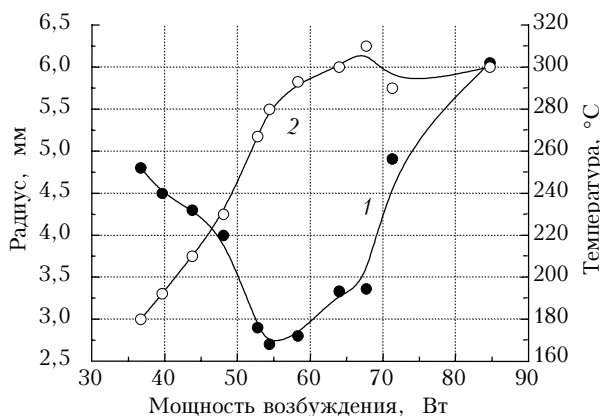


Рис. 3. Радиус токового канала (1) и температура на оси токового канала (2) в зависимости от мощности возбуждения

При минимальном радиусе токового канала (2,7 мм), средней мощности возбуждения 60 Вт (2 Вт/см³) и давлении паров йода 2,5 торр наблюдается максимум излучаемой мощности. В диапазоне 200–650 нм она составила 3 Вт (10 мВт/см²) при эффективности 5%. Излучение на атомарной линии 206 нм составляет ~25% от средней излучаемой мощности. Большая часть оставшейся излучаемой мощности приходится на молекулярную полосу I₂* 342 м (рис. 4).

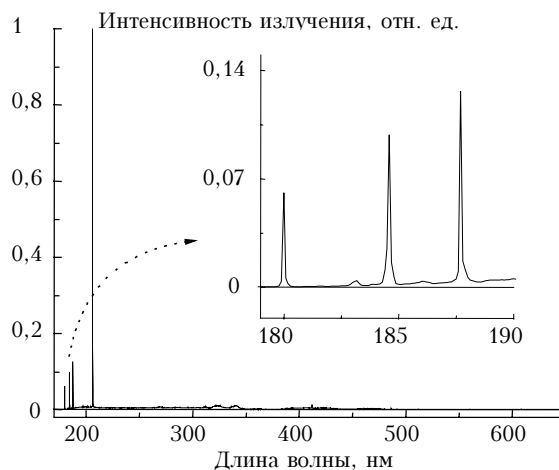


Рис. 4. Спектр излучения лампы при давлении паров йода 2,5 торр и средней мощности возбуждения ~60 Вт

Вакуумная составляющая спектра (атомарные линии 179,9; 184,4 и 187,6 нм) при расчете излучаемой мощности не учитывалась. Температура внешней поверхности колбы при оптимальном режиме работы равнялась ~100 °С. При дальнейшем увеличении вводимой мощности от 60 до 90 Вт и давления паров йода до 4 торр наблюдаются расширение токового канала до 6 мм (удельная мощность возбуждения при этом снижается от 9 до 3 Вт/см³) и некоторое падение мощности излучения. Температура в центре токового канала при этих условиях составляет ~300 °С. При варьировании давления паров йода от 5 до 15 торр в диапазоне изменения мощности возбуждения 70–90 Вт радиус канала изменяется от 4 до 1,5 мм. Температура токового канала изменяется в диапазоне 300–500 °С. Излучаемая мощность при этом была на порядок ниже, чем в оптимальном режиме работы лампы. При ресурсных испытаниях в оптимальных с точки зрения величины мощности излучения условиях первые 1000 ч лампа работала без снижения мощности излучения.

Заключение

В работе представлены результаты исследования энергетических и спектральных характеристик излучения йодной лампы в УФ-области спектра, возбуждаемой емкостным разрядом при варьировании давления паров йода и вводимой мощности. Для I₂-лампы в оптимальном режиме работы при

мощности возбуждения 60 Вт (2 Вт/см^3) и давлении паров йода 2,5 торр наблюдается максимум излучаемой мощности. В диапазоне 200–650 нм она составила 3 Вт (10 мВт/см^2) при эффективности 5%. Удельные мощности излучения йодной лампы и ртутных ламп низкого давления сопоставимы. При этом одной из проблем, связанных с эксплуатацией ртутных ламп и снижающих срок службы, является потемнение кварцевой оболочки за счет частых циклов зажигания-погасания лампы и распыления электродов [7]. Лампы емкостного разряда лишены этого недостатка, и даже после нескольких сотен тысяч циклов зажигания-погасания разряда в колбе кварцевый материал не теряет своей оптической прозрачности на рабочих длинах волн. Ресурс работы лампы составляет не менее 1000 ч.

1. А.с. 972249 Лампа для облучения в вакуумной ультрафиолетовой области спектра / Волкова Г.А., Кириллова Н.Н., Павловская Е.Н., Подмошенский И.В., Яковлева А.В. Оpubл. в БИ. 1982. № 41.
2. Волкова Г.А., Кириллова Н.Н., Павловская Е.Н., Яковлева А.В. ВУФ-лампы на барьерном разряде в инертных газах // Ж. прикл. спектроскопии. 1984. Т. 41. № 1. С. 691–694.
3. Eliasson B., Kogelschatz U. UV excimer radiation from dielectric barrier discharges // Appl. Phys. B. 1988. V. 46. N 4. P. 299–303.
4. Kogelschatz U. Dielectric-barrier Discharges: Their History, Discharge Physics, and Industrial Applications // Plasma Chem. and Plasma Process. 2003. V. 23. N 1. P. 1–45.

5. Zhang J.Y., Boyd I.W. Efficient XeI* excimer ultraviolet sources from a dielectric barrier discharge // Appl. Phys. 1998. V. 84. N 3. P. 1174–1177.
6. Ломаев М.И., Скакун В.С., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Шутц Д.В., Ерофеев М.В. Эксцил лампы – эффективные источники спонтанного УФ- и ВУФ-излучения // Успехи физ. наук. 2003. Т. 173. № 2. С. 201–217.
7. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. М.: Энергоатомиздат, 1991. 353 с.
8. Шишацкая Л.П., Яковлев С.А., Волкова Г.А. ВУФ-лампы с большой излучающей поверхностью // Оптик. ж. 1998 Т. 65. № 12. С. 93–95.
9. Liuti G., Mentall J.E. Monochromatic iodine lamp // Rev. Sci. Instrum. 1968. V. 39. N 11. P. 1767–1768.
10. Hardeck P., Reeves R.R., Thompson, Jr., and B.A. The iodine lamp: a light source for selective excitation of CO // Z. Naturforsch. 1963. V. 19 a. N 2. P. 2–6.
11. Gross U., Ubelis A., Spietz P., Burrows J. Iodine and mercury resonance lamps for kinetics experiments and their spectra in the far ultraviolet // J. Phys. D. 2000. V. 33. N 4. P. 1588–1591.
12. Boichenko A.M., Yakovlenko S.I. Simulation of Xe/I₂ lamp kinetics upon capacitive discharge excitation // Laser Phys. 2003. V. 13. N 2. P. 1–6.
13. Lomaev M.I., Tarasenko V.F. Xe(He)-I₂ Glow and Capacitive Discharge Excilamps // Proc. SPIE. 2002. V. 4747. P. 390–398.
14. Гуревич М.М. Фотометрия (теория, методы и приборы). Л.: Энергоатомиздат, 1983. 272 с.
15. Ломаев М.И. Определение энерговода в эксцил лампах с возбуждением барьерным разрядом // Оптика атмосф. и океана. 2001. Т. 14. № 11. С. 1091–1095.
16. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987. 264 с.

A.A. Lisenko, M.I. Lomaev, V.F. Tarasenko. I₂ capacitive discharge lamp.

Energy and UV spectral parameters of the iodine capacitive discharge lamp were studied at different I₂ vapor pressure and input electric power. The low-pressure capacitive discharge lamp at the iodine atomic transitions can make up for a deficiency in light sources in the spectral range from 180 to 210 nm.