

Физика плазмы и плазменные технологии

УДК 537.521.1

Новые высокоэффективные электроразрядные лампы видимого и ультрафиолетового диапазона спектра

А. Н. Малинин, А. К. Шуаибов, Л. Л. Шимон, И. А. Грабовая, А. В. Поляк
Ужгородский национальный университет, г. Ужгород, Украина

Представлены результаты разработки и оптимизации выходных характеристик электроразрядных эксимерно-галогенных ламп, которые излучают на переходах бромидов и йодидов ксенона, димерах брома, йода и атомов йода в ультрафиолетовой и ближней вакуумно-ультрафиолетовой областях спектра, а также на моногалогенидах ртути в видимой области спектра. Для накачки ламп применялись продольный тлеющий разряд постоянного тока и барьерный разряд. Максимальная мощность излучения ламп достигает 60 Вт (УФ-диапазон) и 45 Вт (видимая область длин волн) при КПД излучателей 20—30 %.

Широкое использование в микроэлектронике, химии высоких энергий, медицине, биотехнологиях и сельском хозяйстве мощных и эффективных источников видимого, ультрафиолетового (УФ) и вакуумно-ультрафиолетового (ВУФ) излучения стимулировало исследование новых активных сред электроразрядных ламп на основе моногалогенидов инертных газов, ртути, кадмия и цинка, а также атомов и димеров галогенов.

В данной работе приводятся результаты разработки и основные характеристики новых эксимерно-галогенных, электроразрядных источников спонтанного излучения, полученные в Ужгородском национальном университете.

Лампы на переходах йодидов и бромидов ксенона, а также атомов и димеров йода, брома

В настоящей статье представлены результаты разработки и оптимизации источника ультрафиолетового излучения с накачкой тлеющим разрядом постоянного тока, который работает на смесях инертных газов с парами йода и (или) брома.

Тлеющий разряд зажигался в цилиндрической разрядной трубке из кварца, который пропускал не менее 70—80 % интенсивности УФ-излучения на $\lambda = 200$ нм. Внутренний диаметр разрядной трубки составлял 1,4 см, межэлектродное расстояние — 10—50 см [1, 2]. Кристаллический йод высокой чистоты размещался в специальном отростке за анодом.

При расчетах мощности излучения спектральной линии (J) $\lambda = 206$ нм учитывалась ширина контура этой линии. На рис. 1 представлены измеренные контуры спектральной линии йода с $\lambda = 206$ нм (1) и линии атома ртути с $\lambda = 253$ нм (2) из ртутной лампы низкого

давления. Ширина контура спектральной линии излучения атома йода не превышала 0,1 нм, поэтому при примерно одинаковой средней мощности УФ-излучения атомов йода и излучения эксимерных молекул, для йодной лампы возможно достижение спектральной плотности мощности бактерицидного излучения на 1—2 порядка выше в области 206 нм, чем для электроразрядных эксимерных ламп.

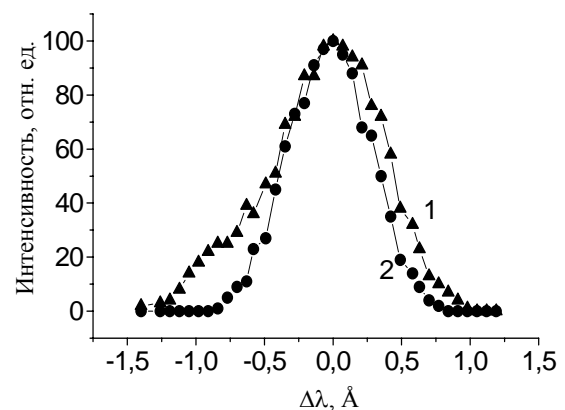


Рис. 1. Контуры спектральной линии излучения 206 нм атома йода (1) из тлеющего разряда в смеси He/Xe/I₂ ($P = 1$ кПа) и линии 253,7 нм атома ртути из ртутной лампы низкого давления (2) при величине разрядного тока 70 мА

В спектре излучения тлеющего разряда в наиболее эффективной смеси паров йода с гелием и ксеноном наблюдались спектральная линия атома йода 206 нм, система электронно-колебательных полос I₂ (B-X) в диапазоне $\lambda = 320—342$ нм и достаточно яркая полоса 253 нм XeI (B-X). В ВУФ-области спектра наиболее эффективным было излучение на спектральных линиях атома йода 150,7 и 161,8 нм. При этом суммарная мощность излучения всех спектральных линий атома йода в диапазоне 150—

200 нм превышала мощность излучения наиболее интенсивной линии 206 нм примерно на 10—20 %.

Зависимость мощности излучения спектральной линии $\lambda = 206$ нм (1) и суммарной мощности УФ-излучения (2) от величины электрической мощности разряда для смеси $P(\text{He})/P(\text{Xe}) = 800/400$ Па с парами йода при среднем токе разряда 70 мА показана на рис. 2.

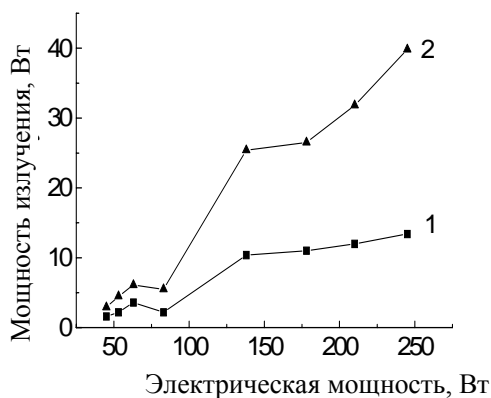


Рис. 2. Зависимость мощности излучения спектральной линии 206 нм атома йода (1) и суммарной мощности УФ-излучения лампы на смеси $P(\text{He})/P(\text{Xe})/P(\text{I}_2) = 800/400/130$ Па от величины электрической мощности тлеющего разряда

Величина суммарной мощности УФ-излучения с боковой поверхности разрядной трубки достигала 40 Вт при КПД ≤ 15 %. Увеличение среднего тока разряда до 100 мА приводило к увеличению мощности УФ-излучения до 60 Вт. На смеси $\text{He}/\text{Xe}/\text{Br}_2/\text{I}_2$ реализован режим излучения лампы, при котором перекрывался практически весь бактерицидный диапазон спектра (200—300 нм) [3]. Это достигнуто благодаря одновременному излучению молекулярных полос с максимумами интенсивности при 292 нм $\text{Br}_2(\text{B-X})$, 282 нм $\text{XeBr}(\text{B-X})$, 253 нм $\text{XeI}(\text{B-X})$ и спектральной линии 206 нм I^* . Ресурс работы лампы на одной смеси в газостатическом режиме был не хуже 500 ч.

Использование рабочих сред на основе криптона при возбуждении тлеющим разрядом оказалось малоэффективным.

Лампы на электронно-колебательных переходах молекул моногалогенидов ртути

В настоящей статье представлены результаты разработки и оптимизации источника видимого излучения с накачкой импульсно-периодическим барьерным разрядом, который работает на смесях инертных газов с парами дигалогенидов ртути.

Барьерный разряд зажигался в цилиндрической трубке из кварца с площадью поверхности 230 см². Внутри по оси расположен вольфрамовый электрод круглого сечения. Второй электрод — перфорированный (с коэффициентом пропускания излучения 72 %). Подвод энергии к внутреннему элек-

троду от источника питания осуществляется через металлокварцевый ввод. На противоположной торцевой поверхности располагается патрубок из кварцевого стекла с капилляром, через который проводятся вакуумирование и заправка исследуемыми компонентами смеси. Частота следования импульсов 5000 Гц, длительность импульсов ~ 150 нс [4, 5].

Выявлено излучение эксимерных молекул моноидов и монобромидов ртути, второй положительной системы молекулярного азота, а также линий гелия, ксенона и ртути в УФ, видимой и ИК-областях спектра. Установлены параметры источника накачки и парциальный состав смеси, при котором в сине-зеленой спектральной области сосредоточено 90 % мощности излучения, что значительно выше, чем у натриевых ламп высокого давления (рис. 3), при сопоставимых энергозатратах в рабочую смесь.

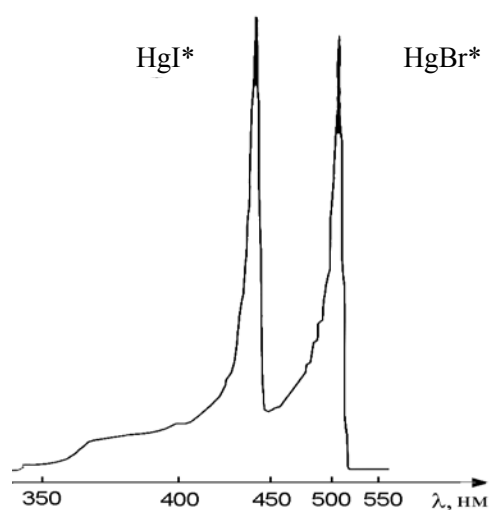


Рис. 3. Спектр излучения электроразрядной лампы на моногалогенидах ртути

Оптимальное парциальное давление гелия находится в пределах 162—195 кПа. Мощности излучения: средняя и импульсная 45 Вт и 93 кВт, соответственно, при частоте следования импульсов накачки 5000 Гц, КПД — 30 % [6].

Заключение

На основе тлеющего разряда низкого давления в сложных смесях инертных газов с парами йода и брома разработаны универсальные бактерицидные лампы, которые на одной рабочей смеси могут перекрывать спектральный диапазон (150—300) нм. Средняя мощность излучения лампы достигает 40—60 Вт при КПД ≤ 15 % и ресурсе работы в отпаянном варианте излучателя до 500 ч.

На основе барьерного разряда атмосферного давления на смесях инертных газов и паров дигалогенидов ртути разработаны универсальные лампы видимого и ультрафиолетового спектрального диапазонов с возможностью масштабирования размеров поверхности и

мощности излучения в пределах от 1 мВт до 1 кВт и более, ресурсе работы в отпаянном варианте излучателя не менее 2000 ч, КПД ~30 %.

Лампы представляют интерес для следующих применений: фотоосаждение тонких диэлектрических пленок и аморфных полупроводников (нанотехнология, микроэлектроника); фототравление полимерных соединений (микроэлектроника); стерилизация газообразных и жидкостных сред, а также поверхности твердых тел (медицина, микробиология, пищевая промышленность); низкотемпературное окисление органических соединений (аналитическая химия, химическая промышленность), отверждение полимеров, лаков и красок на полимерной основе, накачка химических жидкостных и твердотельных лазеров (квантовая электроника); стимуляция развития растений (сельское хозяйство) и лечение (медицина).

Л и т е р а т у р а

1. Шуаибов А. К., Шимон Л. Л., Грабовая И. А.: Пат. Украины на изобретение, UA 62723 А; Опубл. 15.12.2003; бюл. № 12.
2. Шуаибов А. К., Грабовая И. А.// ЖТФ, 2004. Т. 74. Вып. 4. С. 66.
3. Шуаибов А. К., Шимон Л. Л., Грабовая И. А.// Теплофиз. выс. темп. 2004. Т. 42. № 4.
4. Малинин А. Н., Поляк А. В.: Пат. Украины на изобретение, UA 62744 А; Опубл. 15.12.2003, бюл. № 12.
5. Малинин А. Н., Поляк А. В., Шимон Л. Л.: Пат. Украины на изобретение, UA 62773 А; Опубл. 15.12.2003, бюл. № 12.
6. Малинин А. Н., Поляк А. В.// Оптика и спектроскопия. 2003. Т. 95. № 6. С. 988.

Статья поступила в редакцию 17 ноября 2004 г.

New high-effectual electro-discharge lamps of visible and ultra-violet spectrum range

A. N. Malinin, A. K. Shuaibov, L. L. Shimon, I. A. Hrabova, A. V. Polyak
Uzhgorod National University, Uzhgorod, Ukraine

The results of working out and optimization of output characteristics of electro-discharge excimer-halide lamps, which radiate on transition of bromides and iodides of a xenon, dimers of bromine, iodine and iodine atoms in ultra-violet and near vacuum-ultra-violet spectrum range, and also on monohalogenides of mercury in visible spectrum range are presented. The longitudinal glow discharge of a direct current and barrier discharge to pumping lamps was applied. The maximum capacity of radiating of lamps reaches 60 W (UV-range) and 45 W (visible range of wave-lengths) at efficiency of radiators 20—30 %.

УДК 621.387.35

Нарушение устойчивости электрической дуги при разведении контактов в вакуумной промежулке с поперечным магнитным полем

Д. Ф. Алферов, Д. В. Евсин, Я. И. Лондер
Всероссийский электротехнический институт, Москва

Экспериментально исследованы характеристики вакуумной дуги постоянного тока при разведении контактов в аксиально-симметричном преимущественно радиальном магнитном поле. Изучены основные особенности динамики свечения плазмы в межконтактной промежулке в течение устойчивой стадии горения дуги в диапазоне токов 50—150 А. Обсуждаются возможные механизмы нарушения устойчивости вакуумной дуги в аксиально-симметричном магнитном поле. Предложена одномерная стационарная модель, описывающая устойчивую стадию горения дуги. Результаты расчета удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными.