

РАЗРАБОТКА И ВЫПУСК ИСТОЧНИКОВ УФ И ВУФ ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2012 г. И. А. Невяжская*; В. А. Тяпков*; Н. В. Шилина**; В. Б. Шилов***, доктор техн. наук

* НПК “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

** Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: shilov@npkgoi.ru

Рассмотрены газоразрядные источники ультрафиолетового и вакуумного ультрафиолетового излучений, разработанные в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова. Приведены основные характеристики ламп с дуговым, тлеющим, высокочастотным и барьерным разрядами и возможные области их применения. Указано, что в качестве газа наполнения используют криптон, ксенон, аргон, водород, дейтерий, неон, гелий и их сочетания. Отмечено, что настоящим прорывом в области ВУФ техники явилось использование окон из фтористого магния и лития. После освоения техники крепления окон из этих материалов к стеклянным колбам стало возможным создание нового класса источников ВУФ излучения. Подчеркнуто, что структура лаборатории газоразрядных источников света предполагает совмещение проведения разработки новых типов УФ и ВУФ-ламп с их производством. Это позволяет осуществлять мелкосерийное производство, разрабатывать и изготавливать источники (лампы) в единичных экземплярах по индивидуальным техническим требованиям, что является важным обстоятельством при разработке новых приборов, использующих УФ и ВУФ источники излучения.

Ключевые слова: ультрафиолет (УФ), вакуумный ультрафиолет (ВУФ), газоразрядные лампы.

Коды OCIS: 220.0220, 230.0230, 350.0350

Поступила в редакцию 03.04.2012

В настоящее время наблюдается рост интереса к ультрафиолетовому (УФ) и вакуумному ультрафиолетовому (ВУФ) диапазонам спектра излучения. Это обусловлено появлением новых прикладных задач, связанных с этими диапазонами спектра оптического излучения. В Государственном оптическом институте (ГОИ) разработкой и производством источников для УФ и ВУФ-диапазонов занимается лаборатория, являющаяся одной из старейших в институте – в 2011 году ей исполнилось 80 лет. За эти годы лабораторией накоплен огромный практический опыт и она занимает прочные позиции по разработке и изготовлению ламп для ближней и дальней (вакуумной) УФ области.

Одной из первых задач, решенных в лаборатории газоразрядных источников излучения ГОИ, была разработка и создание образцов спектральных парометаллических ламп, предназначенных для воспроизведения эталонных спектральных линий для градуировки спектральных оптико-механических приборов и установок. Эти лампы использовали в интер-

ференционной аппаратуре в качестве монохроматических источников света. Примером может служить лампа СМР-1 ($\lambda = 546$ нм), которая выпускается и в настоящее время.

Настоящим прорывом в вакуумной технике стало появление окон из фтористого магния. После изучения его термодинамических свойств и разработки методов припайки окон из этого материала к стеклянным колбам стало возможным создание нового класса разнообразных ламп для ВУФ-области спектра. В настоящее время разработаны и созданы лампы для ВУФ-области спектра с большим сроком службы, имеющие наполнение такими газами, как криптон, ксенон, аргон, водород, дейтерий, неон, гелий и их сочетания. Это позволяет получать источники линейчатого, сплошного и смешанного излучения. В современных газоразрядных лампах используют дуговую, тлеющую, барьерную и высокочастотный разряды. Особенностью ламп с дуговым разрядом является наличие подогреваемого оксидированного катода и низкое напряже-

ние горения при относительно больших токах разряда.

Водородные, дейтериево-неоновые и ртутно-водородные лампы по конструкции относятся к капиллярным лампам, в которых разряд ограничен каналом капилляра, диаметр которого не более 2 мм. Плотность тока разряда в таком канале достигает 60 А/см². Лампы этого типа являются точечными источниками излучения высокой яркости. Спектр их излучения от 113 нм и далее по видимому диапазону [1].

Для спектрофотометрических задач используется многолинейчатый спектр водорода от 113 до 165 нм и сплошной спектр в области 165–360 нм. В спектре излучения присутствует также атомарное излучение водорода: мощная линия серии Лаймана $L\alpha$ 121,6 нм и линии серии Бальмера, используемые для градуировки спектральных приборов по длинам волн, а также для проведения метрологических исследований в ВУФ-области спектра.

В дейтериево-неоновых лампах спектр излучения подобен водородному, отличаясь тем, что в красной области присутствуют многочисленные неоновые линии большой яркости. Было установлено, что дейтериевые лампы по интенсивности излучения эффективнее водородных в области 170–360 нм примерно на 30%, но в более коротковолновой области молекулярно-полосатого спектра дейтерий утрачивает свое преимущество. Поэтому лампы, предназначенные для работы в ближней УФ области спектра, рационально наполнять дейтерием, а для вакуумного УФ излучения следует по-прежнему изготавливать водородные лампы.

В ртутно-водородных лампах кроме спектра водорода присутствуют линии ртути 185 и 253,7 нм. Перечисленные лампы выпускаются со следующими маркировками: водо-

родная ВМФ-25, дейтериево-неоновые – ДНМ-15 и ДНМ-90, ртутно-водородная – ВМР-15 (последняя цифра обозначает потребляемую мощность в ваттах).

В отличие от водородных и дейтериевых ламп криптоновые и ксеноновые резонансные лампы представляют собой практически монохроматические источники излучения в ВУФ-области спектра. В пределах этой области лампы излучают резонансные линии атомов ксенона (147 и 129,6 нм) и криптона (123,6 и 116,6 нм), причем интенсивность длинноволновых линий на один, два порядка превосходит интенсивность коротковолновых линий [2]. Замечено, что при работе ксеноновых и криптоновых резонансных ламп при повышенных температурах более коротковолновая линия пропадает и источник излучения становится монохроматическим. Этот эффект может быть использован в фотоионизационных детекторах газовых хроматографов для анализа труднолетучих веществ, когда сам детектор должен работать при повышенных температурах (200–300 °С) [3]. Кроме того, эти лампы отличаются еще и тем, что при небольшой вводимой в плазму плотности мощности (≈ 1 Вт/см²) имеет место насыщение интенсивности резонансных линий, а в дальнейшем и их уменьшение. Поэтому в отличие от водородных и дейтериевых ламп конструкторские задачи направлены не на повышение яркости, а на увеличение общего потока излучения, что осуществляется подбором оптимального состава газового наполнения и увеличением объема излучающей плазмы за счет увеличения ее поперечного сечения.

Квантовая эффективность ламп этого типа составляет 10^{15} – 10^{16} квант/с. Эти лампы выпускаются с маркировкой КрР-2-1 и КсР-2-1 (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики водородной и дейтериево-неоновой ламп и резонансных ламп с ксеноновым и криптоновым наполнением

Тип лампы	Размер зоны свечения, мм	Потребляемая мощность, Вт	Ток разряда, А	Поток ВУФ излучения, квант/с	Срок службы, час	Габариты, диаметр×длина, мм
Водородная ВМФ-25	1,5	25	0,3	2×10^{15}	500	Ø28×130
Дейтериево-неоновая ДНМ-15	1,0	15	0,15	2×10^{15}	500	Ø28×60
Ксеноновая КсР-2-1 Криптоновая КрР-2-1	Ø18×30	15	0,3	5×10^{15}	500	Ø34×95

Кроме ламп с дуговым разрядом изготавливаются малогабаритные лампы с тлеющим разрядом. Это маломощные лампы, работающие при токе разряда от 0,3 до 3 мА и при падении напряжения на лампе не более 300 В. В лампах тлеющего разряда используется свечение плазмы в полой катод.

В ГОИ производятся лампы тлеющего разряда с ксеноновым и криптоновым наполнением (КсРМ-2, КрРМ-2), а также водородные (ЛГВ-1 и ЛГВМ-0,5). Их параметры представлены в табл. 2.

Особое место занимают высокочастотные (ВЧ) лампы с криптоновым, ксеноновым, аргоновым или ртутным наполнением. В зависимости от формы и расположения электродов ВЧ разряд может быть индуктивным или емкостным. Тип разряда существенно влияет на излучательные характеристики ламп. В случае наполнения ксеноном или криптоном высокочастотные лампы представляют собой колбу с припаянным окном из фтористого магния. При наполнении лампы аргонным окном лампы выполняются из фтористого лития, при этом окно крепится эпоксидной смолой, а в колбу устанавливается геттер для очистки газового состава лампы. Разработка и реализация малогабаритных ламп тлеющего и высокочастотного разрядов позволила создать новое поколение газовых хроматографов и портативных газоанализаторов, работающих на принципе фотоионизационного детектирования.

Кроме того, на базе лампы с тлеющим разрядом была изготовлена малогабаритная лампа с полым катодом, снабженная окном-фильтром, подавляющим излучение в области 280–320 нм. Лампа применялась в ракетном флюоресцентном гигрометре, разработанным Центральной аэрологической обсерваторией (ЦАО) для изучения распределения водяного пара на высотах до 90 км. Флюоресцентный

гигрометр прошел успешные испытания в российско-шведском эксперименте. Лампа обладает высокой механической надежностью и отвечает требованиям практики аналитического приборостроения [4].

Широкое применение в настоящее время находят эксимерные лампы на основе барьерного разряда. Преимуществом ламп этого типа перед другими газоразрядными источниками является не только отсутствие внутренних металлических электродов и осуществление излучения через цилиндрическую или плоскую поверхности и их образующие, но и в возможности легко получать интенсивные континуумы инертных газов, так как в барьерном разряде гасящее действие примесей проявляется слабее, чем при других способах возбуждения инертных газов [5].

В этих лампах разряд в протяженной полости, образуемой стенками колбы, возбуждается либо между внешними электродами, приложенными снаружи к стенкам колбы, либо между проволочными электродами, покрытыми диэлектриком и введенными внутрь полости колбы. В этом случае полость колбы равномерно заполняется нитями разряда, направленными от одного электрода к другому и создающими равномерную освещенность от любой свободной от электродов поверхности колбы. Колбы барьерных ламп могут иметь различные формы в зависимости от назначения – излучение от барьерного разряда может выводиться как с торца, так и через боковые грани колбы. Барьерные лампы излучают преимущественно молекулярные континуумы инертных газов в ВУФ-области от 120 до 200 нм, а в их смесях с галогенами – длинноволновая граница смещается за 300 нм.

Основное применение барьерных ламп, как и дуговых водородных, дейтериевых и резонансных ламп – спектрофотометрия и проведение метрологических исследований в ВУФ

Таблица 2. Характеристики спектральных ламп тлеющего разряда

Тип лампы	Размер зоны свечения, мм	Потребляемая мощность, Вт	Ток разряда, мА	Поток ВУФ излучения, квант/с	Срок службы, ч	Габариты, диаметр×длина, мм
Ксеноновая КсРМ-2 Криптоновая КрРМ-2	2,5	1,0	0,3–3	5×10^{14}	1000	∅18×40
Водородная ЛГВ-1	2,0	1,0	3–5	10^{14}	1000	∅18×50
Водородная ЛГВМ-0,5	2,5	0,5	1–2	10^{14}	500	∅10×30

области спектра. Помимо этого, с развитием в последнее время новых форм технологий, эти лампы находят широкое применение при

фототравлении и фотоочистке поверхностей, очистке и обеззараживании воды, фотостерилизации и т. п.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишацкая Л.П. Источники вакуумного ультрафиолетового излучения непрерывного действия // ОМП. 1984. № 9. С. 54–59.
 2. Яковлев С.А. Новые разработки ксеноновых и криптоновых резонансных ламп // ОМП. 1978. № 4. С. 52–54.
 3. Яковлев С.А., Невяжская И.А. Использование ксеноновых и криптоновых резонансных ламп при повышенных температурах // ОМП. 1990. № 10. С. 64–66.
 4. Шишацкая Л.П., Шилина Н.В., Хапланов М.Г., Гумбел Й. Водородная лампа для оптического гигрометра // Оптический журнал. 1996. № 8. С. 57–59.
 5. Волкова Г.А., Кириллова Н.Н., Павловская Е.П., Яковлева А.В. ВУФ лампы на барьерном разряде в инертных газах // Журнал прикладн. спектр. 1984. Т. ХLI. В. 4. С. 691–695.
-