

УДК 621.327.42 535-32

Лампа для юстировки спектральных приборов в диапазоне 115–175 нм

© 2017 г. **М. А. КАРТАШЕВА; Б. Е. КРЫЛОВ, канд. физ.-мат. наук;
О. В. ЛЕВИНА; И. А. НЕВЯЖСКАЯ; В. А. ТЯПКОВ**

АО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова», Санкт-Петербург

E-mail: bekrylov@bk.ru

Поступила в редакцию 10.01.2017

Разработан газоразрядный источник излучения (спектральная лампа) для юстировки спектральных приборов, работающих в ближней вакуумной ультрафиолетовой области. В диапазоне длин волн 115–175 нм лампа излучает три пары интенсивных атомарных линий, расположенные на краях и в середине указанного спектрального интервала. Источник малогабаритный, с низким энергопотреблением (менее 1 Вт). Приведены спектр источника и относительные интенсивности спектральных линий.

Ключевые слова: спектральная лампа, тлеющий разряд, вакуумный ультрафиолет, спектр излучения.

Коды OCIS: 230.6080, 260.7210, 300.6540, 300.6170

ВВЕДЕНИЕ

В процессе юстировки спектрального прибора удобно использовать источник излучения, спектр которого содержит небольшое число интенсивных атомарных линий, «расставленных» по всему рабочему диапазону настраиваемого прибора или, по крайней мере, расположенных по краям и в середине рабочего спектрального диапазона. Наиболее удобны малогабаритные спектральные лампы тлеющего разряда — компактные источники с низким энергопотреблением и тепловыделением. Спектральная лампа ЛГАК-1, представленная в данной публикации, относится именно к таким источникам вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения. Лампа разработана для юстировки вакуумных спектральных приборов в диапазоне 115–175 нм.

В настоящее время выпускаются малогабаритные лампы тлеющего разряда, излучающие в ВУФ области резонансные линии криптона (116,49 и 123,58 нм) или ксенона (129,56 и 146,96 нм); это, например, лампы КрPM-2, КсPM-2 [1] и CDL-1050 [2]. Эти лампы не могут обеспечить полноценную юстировку спектрального прибора в диапазоне 115–175 нм, поскольку указанный набор спектральных линий не охватывает весь спектральный диапазон (требуется дополнительный источник излучения). Кроме того, поочередное использование нескольких источников осложняет юстировку, особенно в ВУФ области спектра.

В спектре лампы ЛГАК-1, кроме указанных выше линий криптона, присутствуют интенсивные линии

атомарного азота (149,26, 149,47 нм и 174,27, 174,52 нм), т.е. спектр новой лампы содержит три пары интенсивных линий, расположенные на краях и в середине заданного спектрального диапазона.

ЛАМПА ЛГАК-1

Конструкция лампы схематично представлена на рис. 1. Габариты источника: диаметр 18 мм, длина 50 мм. Окно лампы (1) изготовлено из кристалла фторида магния и припаяно к стеклянному корпусу лампы (2) с помощью стеклоэмали. Граница пропускания окна — 113 нм. Разряд между анодом (3) и катодом (4) зажигается внутри стеклянной трубки (5), ограничивающей разрядный канал и повышающей яркость источника. В массивном аноде, изготовленном из титана, имеется отверстие диаметром 2,0 мм для выхода излучения разряда. Катод изготовлен из никеля и имеет форму полого цилиндра. Длина излучающего объема 15 мм. Траверсы электродов служат одновременно опорными элементами электродной сборки. Остальные детали используются для центровки электродной сборки и придания жесткости. Напряжение подается на впаянные в колбу лампы внешние электроды (6).

Лампа работает на газовой смеси гелий-азот-криптон. Давление в лампе — 40 Торр. Диапазон рабочих токов 0,1–3,0 мА. Падение напряжения на лампе не превышает 370 В. При токах выше 3,0 мА может отмечаться распыление катода. Рекомендуемый рабочий

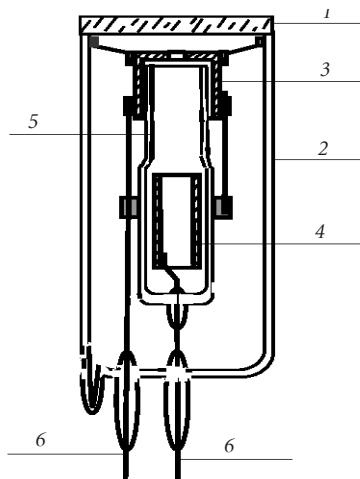


Рис. 1. Лампа ЛГАК-1 (схема). 1 – окно из фторида магния, 2 – стеклянный корпус лампы, 3 – анод, 4 – катод, 5 – стеклянная трубка, ограничивающая разрядный канал, 6 – внешние электроды.

ток — 1 мА, энергопотребление лампы в этом случае менее 0,5 Вт. Состав и давление рабочей смеси в лампе подобраны таким образом, чтобы обеспечивались высокая интенсивность спектральных линий и устойчивая работа разряда в диапазоне рабочих токов. Регулирование тока лампы в этом диапазоне обеспечивает плавное изменение потока ВУФ излучения.

Питание лампы осуществлялось от малогабаритного блока питания, изготовленного в Бюро аналитического приборостроения «Хромдэт-Экология» (Москва). Этот блок обеспечивает зажигание лампы (при 500 В), снижение напряжения на включенной лампе до уровня рабочих значений, регулировку и стабилизацию тока лампы в диапазоне 0,1–5,0 мА.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В процессе разработки лампы ЛГАК-1 был изготовлен макет этого источника, в котором предусмотрено подключение к системе, обеспечивающей вакуумную откачуку источника и наполнение газовой смесью определенного состава. Все элементы вакуумной системы, в том числе камера для приготовления газовых смесей, откачивались до 10^{-6} Торр турбомолекулярным насосом (Varian, 70 л/с, с безмасляным вспомогательным насосом).

Спектры источников регистрировались спектрометром, в состав которого входит метровый вакуумный сканирующий монохроматор, оснащенный вогнутой дифракционной решеткой 1200 шт/мм. Рабочий диапазон спектрометра 115–200 нм, спектральное разрешение 0,020 нм. В качестве приемника излучения использовался фотоумножитель R1220 (Hamamatsu) с окном из фторида магния и фотокатодом Cs-Te. Применялся режим счета фотонов. Управление процессом регистрации спектра осуществлялось с помощью компьютера. Шаг сканирования не превышал 0,01 нм,

а в пределах контуров спектральных линий уменьшался до 0,0025 нм. Время накопления сигнала на каждом шаге сканирования составляло 0,5 с, допустимая максимальная скорость счета фотонов — 10^7 в секунду.

Регистрируемый спектр выводился на экран монитора в режиме реального времени и запоминался в виде табличного файла, который использовался для построения и обработки спектрограмм (с помощью программы Origin). Поправки на зависимость пропускания спектрометра от длины волны при записи спектров не вводились.

Система вакуумной откачки спектрального прибора (с турбомолекулярным насосом Pfeiffer Balzers, 230 л/с) обеспечивала вакуум в объеме монохроматора на уровне 10^{-6} Торр.

Исследуемый источник излучения крепился перед входной щелью вакуумного монохроматора с помощью фланцевого соединения (KF 25 с витоновым кольцевым уплотнителем), для этого на торце лампы устанавливался фланец соответствующего размера. Между входной щелью монохроматора и источником излучения располагался вакуумный затвор, который позволял заменять исследуемые источники без разгерметизации основного объема спектрального прибора.

СПЕКТР ИСТОЧНИКА

Первоначально макет лампы использовался для тестирования смесей аргон-азот и гелий-азот. Азот присутствовал в смеси в виде малой добавки к инертному газу (на уровне процентов или долей процента), полное давление смеси в источнике варьировалось в пределах 20–60 Торр. Ожидалось появление в спектре лампы интенсивных линий азота в окрестности 120 нм (это резонансные линии азота, обусловленные электронными переходами с возбужденных уровней 10,33–10,34 эВ в основное состояние атомов), вблизи 149 нм (переходы с уровней 10,68–10,69 эВ на метастабильные уровни с энергией 2,38 эВ) и 174 нм (переходы с уровнями 10,68–10,69 эВ на метастабильные уровни 3,57 эВ).

Исследования спектров показали, что, во-первых, все атомарные линии азота эффективнее возбуждались в смесях гелий-азот. Во-вторых, выяснилось, что высокую интенсивность показывают только две группы азотных линий, расположенные близко к 149 нм и 174 нм. Интенсивность коротковолновых (резонансных) линий азота была в 15–20 раз меньше, чем у линий 149 нм. Варьирование состава газовой смеси, давления и тока в источнике не улучшало ситуацию: интенсивность коротковолновых линий оставалась на низком уровне.

Решение проблемы было найдено при переходе к тройной смеси гелий-азот-криптон. В спектре источника появились две интенсивные резонансные линии криптона. Криптон добавлялся в рабочую смесь в таком количестве, чтобы интенсивность резонансных линий криптона и линий азота 149 нм была примерно на одном уровне и чтобы при этом интенсивность линий азота снижалась не существенно. Оптимизация

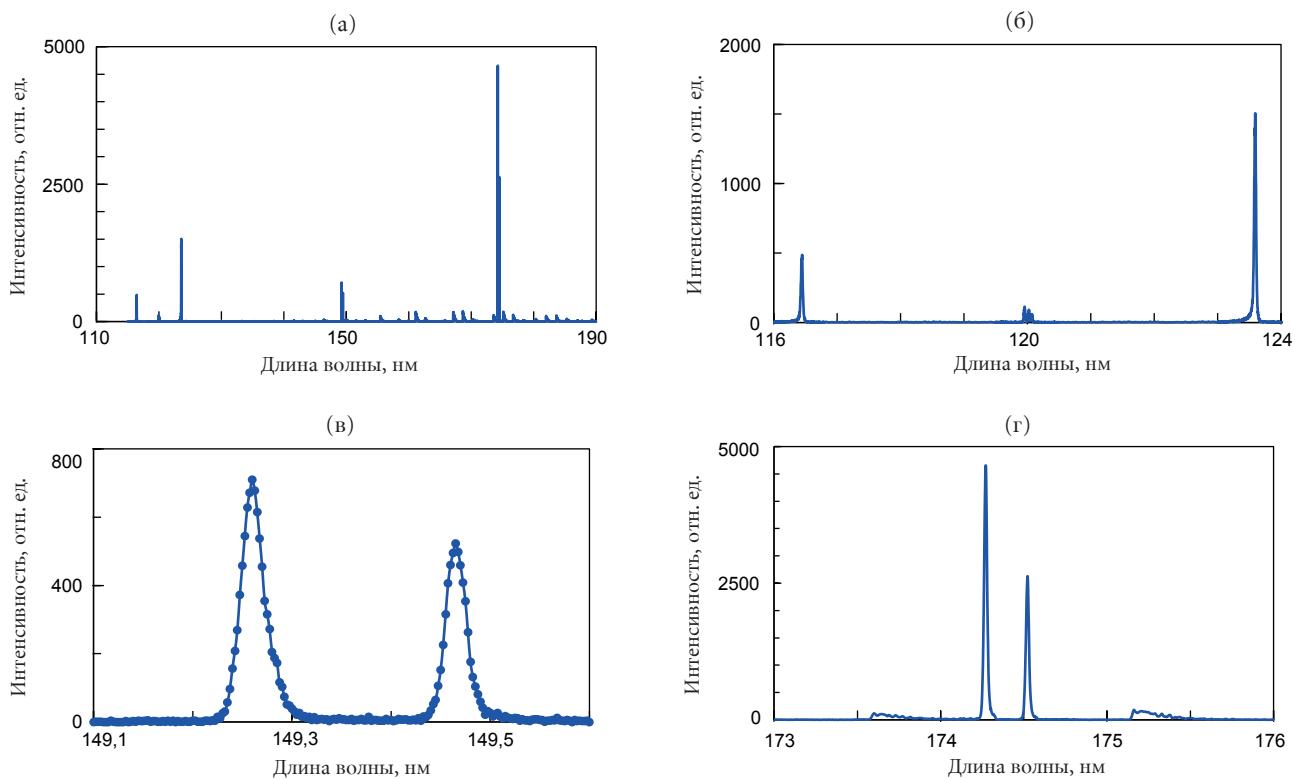


Рис. 2. Спектр лампы ЛГАК-1 (а) и его фрагменты. Резонансные линии криптона и азота (б), линии азота (в), линии азота и полосы моноксида азота (г).

состава тройной смеси дала следующие результаты: полное давление в лампе 40 Торр, концентрация азота 1%, концентрация криптона 0,2%. Указанные значения не были критическими: изменение полного давления в источнике или концентраций азота, криптона в пределах 10% не приводило к существенному изменению спектра излучения и электрических параметров источника.

На основании результатов, полученных при исследовании макета источника, были изготовлены экспериментальные образцы отпаянного источника (спектральной лампы ЛГАК-1). Спектр ЛГАК-1 и наиболее важные его фрагменты представлены на рис. 2. Перечень излучаемых лампой атомарных линий (ток в лампе 1,0 мА) в диапазоне 115–175 нм приведен в таблице.

Коротковолновая группа линий продемонстрирована на рис. 2б. Отметим, что интенсивность линий криптона в спектре ЛГАК-1 составляет не менее 50% интенсивности этих линий в криптоновых лампах КрPM-2 и CDL-1050 [3].

Спектр ЛГАК-1 в районе 149 нм (рис. 2в) представлен экспериментальными точками (шаг сканирования 0,0025 нм). Линии 149,26 и 149,28 нм не разрешены, поскольку существенно отличаются по интенсивности: менее интенсивная линия 149,28 нм прочитывается как небольшое «плечо» на длинноволновом крыле линии 149,26 нм. Эта пара линий, а также резонансные линии азота могут использоваться для контроля разрешающей способности спектральных приборов.

Высокая интенсивность линий 174,27 и 174,52 нм (рис. 2а, г) в значительной степени обусловлена ростом пропускания спектрометра в длинноволновой области (рис. 3). Реальная относительная интенсивность линий в спектре ЛГАК-1 с учетом пропускания спектрометра приведена в таблице: значения интенсивности линий 174 нм оставлены без изменений, а остальных линий спектра — скорректированы в соответствии с зависимостью, представленной на рис. 3. Пропускание спектрометра рассчитано на основании данных по эффективности дифракционной решетки и квантовой эффективности фотоумножителя.

В спектре изготовленных ламп присутствуют молекулярные полосы моноксида азота (рис. 2а, г). Это означает,

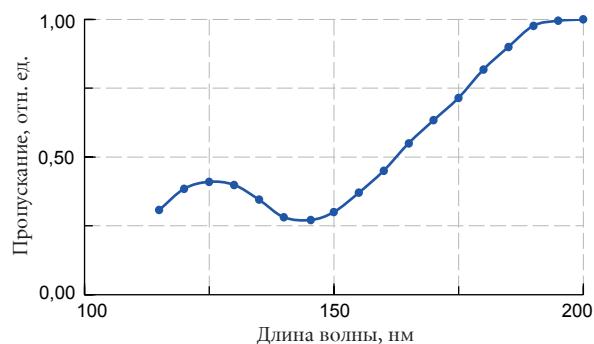


Рис. 3. Зависимость пропускания спектрометра от длины волн.

Атомарные линии, наблюдаемые в спектре лампы ЛГАК-1 в диапазоне 115–175 нм. Интенсивность линий указана с учетом пропускания спектрометра

Элемент	Длина волны, нм	Интенсивность, отн. ед.
Kr I	116,49	1100
N I	119,95	200
N I	120,02	170
N I	120,07	110
Kr I	123,58	2600
N I	149,26	
N I	149,28	1700
N I	149,47	1200
N I	174,27	4700
N I	174,52	2600

чает, что технология изготовления источника требует доработки. Наличие азота (в составе рабочей газовой смеси) не позволяет применить в лампе бариевый геттер, поэтому все технологические этапы при изготовлении ЛГАК-1 должны выполняться более тщательно,

чем при изготовлении ламп, наполняемых инертными газами.

Были проведены предварительные ресурсные испытания изготовленных источников. После 100 часов работы (в режиме периодического включения) при токе 1,0 мА лампы полностью сохранили спектральные и электрические характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в данной публикации малогабаритная с низким энергопотреблением спектральная лампа ЛГАК-1 разработана для юстировки спектральных приборов в вакуумном диапазоне ультрафиолетовой области, 115–175 нм.

Для юстировки спектральных приборов в более широком диапазоне ультрафиолетовой области — 115–400 нм можно рекомендовать комплект из двух спектральных ламп: ЛГАК-1 и ЛГР-1. Последняя представляет собой малогабаритный источник с близкими ЛГАК-1 электрическими параметрами, излучающий в диапазоне 165–400 нм линии атомов и ионов ртути.

Лампа ЛГР-1 выпускается Государственным оптическим институтом им. С.И. Вавилова.

ЛИТЕРАТУРА

- Невяжская И.А., Тяпков В.А., Шилина Н.В., Шилов В.Б. Разработка и выпуск источников УФ и ВУФ излучения // Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 8. С. 108–111.
- Будович В.Л., Будович Д.В., Полотнюк Е.Б. Новые лампы вакуумного ультрафиолета для газоаналитической техники // ЖТФ. 2006. Т. 76. Вып. 4. С. 140–142.
- Будович В.Л., Герасимов Г.Н., Крылов Б.Е., Полотнюк Е.Б. Характеристики криптоновой лампы тлеющего разряда в вакуумной ультрафиолетовой области // Оптический журнал. 2013. Т. 80. № 11. С. 65–111.