

УДК 681.787.7

© С. И. Максимов, А. В. Кретинина, Н. С. Фомина, Л. Н. Галль

КОМБИНИРОВАННЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРОВ НА ОБЛАСТЬ СПЕКТРА 200–1100 нм

Рассмотрено усовершенствование предложенного ранее (С.И. Максимов и др., 2010; Л.Н. Галль и др., 2005) комбинированного излучателя для спектрофотометров, обеспечившее расширение области излучения на область от жесткого ультрафиолета до ИК-диапазона. Усовершенствование состоит в одновременном введении двух безэлектродных ламп с наполнением разными металлами, установленных на оси общего резонатора, что позволяет при сохранении компактности излучателя в целом существенно повысить его мощность и яркость в УФ-области. Описаны особенности реализации предложенного принципа, конструкция нового комбинированного излучателя и приведен пример спектра излучения в одном из рабочих режимов.

Кл. сл.: спектрофотометрия, спектрофотометр, комбинированный излучатель, безэлектродная лампа, спектральные линии

О ВАЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ ШИРОКОДИАПАЗОННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ БОЛЬШОЙ ЯРКОСТИ ДЛЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

Развитие современной спектрофотометрии как метода аналитических исследований в значительной степени зависит от того, какой спектр и какая интенсивность излучения генерируется излучателем спектрофотометра, поскольку именно эти характеристики определяют предельную чувствительность реализуемых спектрофотометрических методик. Высокая яркость излучателей необходима во всем диапазоне проводимых измерений, от ультрафиолета до дальней инфракрасной области. Во многих современных спектрофотометрах проблема поддержания высокой яркости при переходе от одного диапазона измерений к другому решается заменой излучателей. Однако нами в [1] было показано, что возможно создание комбинированных источников излучения, способных генерировать излучение во всем диапазоне спектрофотометрических измерений. Такой излучатель был нами предложен [2] и реализован как стандартный излучатель спектрофотометра для широкого ряда применений. Комбинированный излучатель (рис. 1) представляет собой малогабаритный блок, включающий электронный высокочастотный контур — "резонатор" с питающей его электроникой, в который встроены оптический блок излучателя, а именно расположенные на одной оси галогеновая лампа накаливания и круглый стеклянный безэлектродный вакуумированный баллон с ртутно-металлическим наполнением. Резонатор в свою очередь состоит из конденсатора, составленного

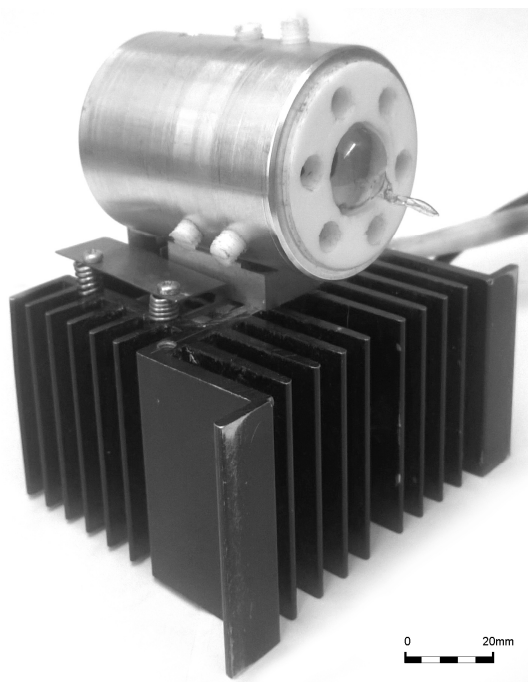


Рис. 1. Внешний вид комбинированного излучателя

двумя коаксиальными металлическими цилиндрами, и индуктивности, которая контактирует с баллоном безэлектродной лампы.

В рабочем режиме, т. е. при высокочастотном возбуждении, в баллоне безэлектродной лампы образуется плазма из паров металлов, помещенных в баллон, излучающая их характеристические спектральные линии. Эти линии позволяют продлить спектр излучения оптической системы в об-

ласть УФ, практически не представленную в излучении галогеновой лампы накаливания. Использование такого излучателя позволяет существенно упростить конструкцию спектрофотометра, особенно применительно к биологическим, экологическим и медицинским исследованиям.

ПРИНЦИПЫ РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНА ИЗЛУЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Кроме ртути, дающей набор высокоинтенсивных линий в области ультрафиолета, пропускаемых стеклянными стенками баллона лампы (близкого ультрафиолета), металлами, излучающими в том же диапазоне, являются кадмий, цинк и алюминий. Перечень основных спектральных линий, условные интенсивности их свечения, а также энергии возбуждения линий для этих четырех металлов по данным Атласа спектров [3, 4] представлены в таблице.

Кадмий, цинк и алюминий хорошо дополняют УФ-спектр, даваемый ртутной плазмой, однако их одновременное размещение в одном баллоне безэлектродной лампы не приводит к требуемому эффекту расширения диапазона излучения, поскольку возбужденные состояния кадмия

и алюминия гасят друг друга в конкурирующих процессах. В связи с этим для спектра, генерируемого представленным на рис. 1 излучателем, расширение возможно только путем использования набора безэлектродных ламп с различными наполнениями. Каждая такая лампа позволяет смещать набор интенсивных линий в область спектра, оптимальную для решаемой задачи. На практике это, однако, не только очень неудобно, но и трудно реализуемо.

Наиболее удобным было бы совмещение в одном излучателе по крайней мере двух безэлектродных ламп с различным совместимым друг с другом наполнением, например лампу с ртутью и кадмием и лампу с ртутью, цинком и алюминием. При этом присутствие ртути в баллоне с любым наполнением обязательно, т. к. она, имея при комнатной температуре высокое давление паров, легко возбуждается при высокочастотной накачке, провоцируя затем испарение и возбуждение атомов других металлов в объеме лампы. Однако при существующей описанной в [2] конструкции генератора одновременное размещение двух ламп в одном излучателе было невозможно. Для решения поставленной задачи потребовалось принципиальное изменение схемы и конструкции высокочастотного генератора.

Спектральные линии ртути, кадмия, цинка и алюминия

Элемент	Степень ионизации/ λ , нм		Энергия возбуждения, эВ (Интенсивность в условных единицах)	Степень ионизации/ λ , нм		Энергия возбуждения, эВ (Интенсивность в условных единицах)
Zn	II	202.6	6.12 (300) 6.01 (1000) 5.8 (1000) 10.98 (40) 8.83 (30)	I	307.6	4.03 (40) 7.78 (30) 7.78 (100) 7.78 (300) —
	II	206.2		I	328.2	
	I	213.9		I	330.3	
	I	250.2		I	334.5	
	I	255.8		—	—	
Cd	II	214.4	5.78 (2000R) 5.47 (1000) 5.41 (1500R)	I	326.1	3.8 (300) 7.37 (100) 7.37 (500)
	I	226.5		I	346.7	
	I	228.8		I	361.0	
Hg	I	253.6	4.88 (1500R) 8.85 (100) 8.85 (50) 9.2 (20)	I	365.5	8.85 (500) 7.51÷7.92 (300) 7.73 (500) 7.73 (1000)
	I	297.0		I	404.5	
	I	313.2		I	435.7	
	I	334.3		I	546.1	
Al	I	2116.3	4.67 4.67 4.83 3.14	I	394.4	3.44 4.02 4.02 13.26
	I	2109.3		I	309.3	
	I	1675.1		I	308.2	
	I	396.15		II	864.1	

НОВЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ НА РАСШИРЕННУЮ ОБЛАСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ ЖЕСТКОГО УЛЬТРАФИОЛЕТА ДО ДАЛЬНОГО ИК

Для эффективного возбуждения безэлектродной лампы необходимо прежде всего увеличить мощность, закачиваемую в ее объем. Увеличение мощности позволяет существенно увеличить температуру плазмы в баллоне лампы и тем самым не только в несколько раз усилить ее яркость, но и одновременно продлить срок ее службы по сравнению, например, с известной безэлектродной лампой ВСБ-2 [5], используемой в большинстве современных спектрофотометров. Как известно, из-за отложений силикатных соединений ртути и других металлических примесей на внутренней поверхности стенок относительно холодного кварцевого баллона срок службы лампы ВСБ-2 не превышает 500 часов. При повышении температуры плазмы в баллоне и соответственно температуры его стенок реакции ионизованных атомов металлов со стенками кварцевого баллона смещаются к равновесным: $\text{Hg}^{+1(2)} + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{HgSiO}_3$; $\text{Cd}^{+1(2)} + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{CdSiO}_3$; $\text{Zn}^{+1(2)} + \text{SiO}_2 \leftrightarrow \text{ZnSiO}_3$. Благодаря этому на стенках не происходит стационарных отложений, характерных для более низкотемпературной плазмы, и соответственно срок службы лампы увеличивается в несколько раз.

Для увеличения мощности возбуждения безэлектродной лампы и при условии максимальной

компактности излучателя в целом было необходимо разработать такую схему и конструкцию высокочастотного генератора, которая позволяла бы сосредоточить в малом объеме баллона лампы практически всю мощность электрической составляющей высокочастотного поля. При этом для излучателя, обеспечивающего расширенный диапазон излучения от 200 до 1100 нм с использованием одновременно двух безэлектродных ламп с разным наполнением, высокочастотный генератор должен обеспечивать для обеих ламп идентичный режим максимальной мощности.

В качестве принципиальной электрической схемы высокочастотного генератора нового излучателя была взята схема возбудителя излучателя, описанного в [2], но в модернизированном исполнении.

Принципиальная схема комбинированного излучателя с расширенным диапазоном излучения и конструктивное размещение в нем трех ламп — источников излучения представлена на рис. 2.

Модернизация электронной схемы генератора позволила получить высокую добротность его высокочастотного контура и свести к минимуму энергетические потери на нагрев керамических конденсаторов. Основной идеей новой конструкции высокочастотного генератора является резонансный LC-контур, в котором воздушный конденсатор С выполнен в виде двойного металлического экрана, во внутренней незаземленной

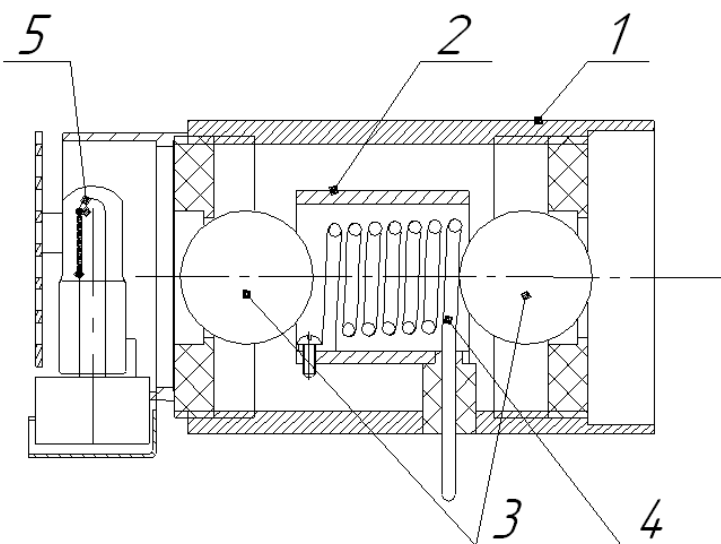


Рис. 2. Принципиальная схема комбинированного излучателя.

1 — внешняя заземленная обкладка конденсатора С; 2 — внутренняя, незаземленная обкладка; 3 — безэлектродные лампы, размещенные на оси LC-контура; 4 — индуктивность L; 5 — галогенная лампа накаливания

обкладке которого 2 размещен соленоид 4 с индуктивностью L . Резонансный контур LC ("резонатор") является возбуждающим элементом на частоте порядка $100 \div 150$ МГц для двух безэлектродных ламп 3, установленных на оси конденсатора с двух сторон от индуктивности L . Для исключения образования короткозамкнутого витка незаземленный экран 2 имеет продольный разрез. Конденсатор обеспечивает повышенную добротность контура $Q \sim 50-100$, причем его конструкция с воздушным зазором между обкладками исключает пробой высокочастотным напряжением.

В качестве излучателей на ультрафиолетовую часть спектра новый комбинированный излучатель включает две безэлектродных лампы: одна — с наполнением ртутью и кадмием и вторая — с наполнением ртутью, цинком и алюминием. При этом установка двух ламп вместо одной симметрично по отношению к индуктивности внутри контура LC не нарушает компактности излучателя, поскольку система накачки ламп построена таким образом, что она активирует обе лампы одновременно и одинаково, так что в рабочем режиме по оси излучателя проходит их суммарное излучение. Использование двух ламп с указанным наполнением позволяет насытить УФ-часть спектра столь большим числом интенсивных линий, что его структура приближается к непрерывной. Некоторая "линейчатость" спектра в этой области практически не влияет на возможность спектрофотометрии, особенно при анализе органических веществ, поскольку спектры поглощения этих веществ, как правило, представлены достаточно широкими полосами.

Поскольку излучение безэлектродных ламп, как следует из табл. 1, захватывает только полови-

ну диапазона видимого света, в качестве источника на видимую область спектра в комбинированный излучатель введена галогенная лампа 5 накаливания КГМ12-10, имеющая кварцевый баллон и также размещенная на его оси. Излучение этой лампы, сосредоточенное в видимой и ИК-областях спектра и очень слабое в его УФ-области, свободно проходит через кварцевые оболочки безэлектродных ламп и в рабочем режиме — через их светящуюся плазму. При этом нет необходимости в установке после галогенной лампы для нее какой-либо оптической системы, поскольку круглые безэлектродные лампы со светящейся плазмой исполняют для ее излучения роль фокусирующих линз. Галогенная лампа устанавливается внутри внешнего заземленного экрана на 1 воздушного конденсатора на его задней крышке. Этот экран, кроме своей функции элемента LC-контура генератора, выполняет также функцию внешней крепежной оболочки излучателя в целом, одновременно экранируя излучение в любых направлениях, кроме осевого. Излучатель собран на радиаторе типа HS178-50 с СВЧ-транзистором, работающем на частоте $100-200$ МГц с выходной мощностью порядка 30 Вт.

О ПАРАМЕТРАХ ИЗЛУЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

На рис. 3 представлен спектр излучения комбинированного излучателя при трех одновременно работающих лампах — галогенной лампы накаливания КГМ12-10 и двух безэлектродных лампах

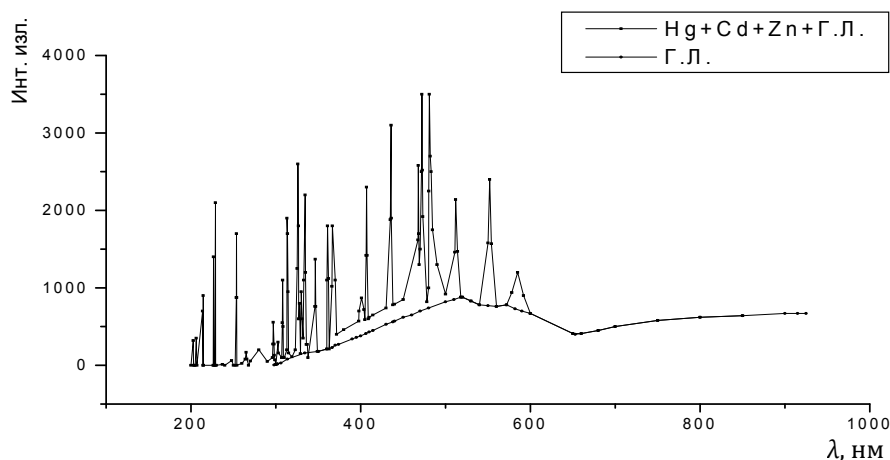


Рис. 3. Спектр излучения комбинированного излучателя с безэлектродными лампами с наполнением (Hg+Cd) и (Hg+Zn), наложенный на спектр излучения КГМ 12-10 (сплошная линия)

с ртутно-кадмиевым и ртутно-цинковым наполнениями. При ртутном (Hg) наполнении лампы область спектра от 200 до 370 нм будет представлена набором из 4 интенсивных спектральных линий, при наполнении (Hg + Cd) — набором из 8 линий, и при наполнении лампы (Hg + Zn) — набором из 10 линий. Заметим, что при использовании ламп с наполнением (Hg + Cd + Zn) (16 интенсивных линий) одновременно с лампой (Hg + Al) количество спектральных линий в УФ-области спектра от 200 до 350 нм возрастет в несколько раз, т. к. в этой области спектра у алюминия (Al) много характерных спектральных линий, имеющих низкий, порядка 5 эВ, потенциал возбуждения.

Таким образом, высокая мощность и яркость нового комбинированного излучателя в УФ-области спектра наряду с компактной конструкцией, надежностью и простотой размещения позволяют использовать его в спектрофотометрах любых модификаций, предназначенных для медицинских, экологических или биологических исследований и рутинных анализов. Благодаря высокой светимости излучателя в УФ-области спектра он может также применяться как независимое изделие для эффективного озонирования воздуха, например, в медицине, микробиологии и в бытовых помещениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимов С.И., Чиж Е.П., Крестина А.В., Галль Л.Н., Суханов В.Л. Малогабаритные дуолучевые преобразователи для специализированных

спектрофотометрических приборов // Научное приборостроение. 2010. Т. 20, № 1. С. 46–51.

2. Галль Л.Н., Крестина А.В., Максимов С.И. Источник излучения для спектрофотометра. Патент РФ № 2264604 от 20 ноября 2005 г. с приоритетом от 18.12.2002.
3. Зайдель А.Н., Прокофьев В.К., Райский С.М., Славный В.А., Шрейдер Е.Я. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1969. 340 с.
4. Стриганов А.Р., Свенцицкий Н.С. Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов. М.: Атомиздат, 1966. 899 с.
5. Рекламный лист безэлектродной лампы ВСБ-2 за вода "Разряд", г. Владикавказ.

Институт аналитического приборостроения РАН, г. Санкт-Петербург (Максимов С.И., Крестина А.В., Фомина Н.С., Галль Л.Н.)

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург (Фомина Н.С.)

Контакты: Фомина Наталья Сергеевна, kolomna.88@mail.ru

Материал поступил в редакцию 5.12.2014

COMBINED RADIATOR FOR SPECTROPHOTOMETER IN THE SPECTRAL RANGE FROM 200 TO 1100 nm

S. I. Maximov¹, A. V. Kretinina¹, N. S. Fomina^{1,2}, L. N. Gall¹

¹Institute for Analytical Instrumentation of RAS, Saint-Petersburg, RF
²Ioffe Physical Technical Institute of RAS, Saint-Petersburg, RF

The paper is devoted to the previously proposed combined emitter for spectrophotometers (S. I. Maximov et al., 2010; L. N. Gall et al., 2005) improvement which provides the emission range expansion from hard ultraviolet to infrared. The improvement consists in the simultaneous introduction of two electrodeless lamps filled with various metals that are installed on axis of the common resonator. It allows to increase the emitter power and brightness in the UV region significantly and at the same time to leave its compactness unchanged. Also the implementations features of the proposed principle were described and the new combined emitter construction was shown. Moreover an example of the emission spectrum in one of the operating modes was demonstrated.

Keywords: spectrophotometry, spectrophotometer, combined emitter, electrodeless lamp, spectral lines

REFERENCES

1. Maximov S.I., Chizh E.P., Kretinina A.V., Gal L.N., Sukhanov V.L. [Small-size doublebeam converters for specialized spectrophotometers]. *Nauchnoe Priborostroenie* [Science Instrumentation], 2010, vol. 20, no. 1, pp 46–51. (In Russ.).
2. Gall L.N., Kretinina A.V., Maximov S.I. [The light source for the spectrophotometer]. RF Patent № 2264604 of 20 November 2005, priority from 18.12.2002. (In Russ.).
3. Zeidel A.N., Prokofiev V.K., Raiyskii S.M., V.A. Slavnyi, Shreyder E.Ya. [Tables of spectral lines]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 340 p. (In Russ.).
4. Striganov A.R., Sventizkiy N.S. [Tables of spectral lines of neutral and ionized atoms]. Atomizdat Publ., 1966. 899 p. (In Russ.).
5. Promotional sheet of electrodeless lamp VSB-2 plant "discharge", Vladikavkaz. (In Russ.).

Contacts: *Fomina Natal'ya Sergeevna*,
kolomna.88@mail.ru

Article arrived in edition: 5.12.2014