УДК 621.327.534:546.13

РТУТНЫЙ РАЗРЯД ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ДОБАВКОЙ ИОДИДА ГАЛЛИЯ

Инженеры Л. Б. ПРИКУПЕЦ, Ю. А. БУХАНОВ и канд. техн. наук Г. С. САРЫЧЕВ

Всесоюзный светотехнический институт

Одним из элементов, на основе которого может быть создан мощный селективный источник излучения, является галлий [Л. 1—3]. Галлий принадлежит к числу элементов с одним *P*-электроном вне заполненных оболочек, основная конфигурация атома — $4^2 4p$. Основным термом атома является дублетный терм $2P$ 1/2, 3/2, резонансным уровнем — уровень $5s^2S$ 1/2, резонансная линия представляет собой дублет ($\lambda=403{,}3$ *нм* и $\lambda=417{,}2$ *нм*) с расщеплением 13,9 *нм*.

Низкое давление паров галлия при рабочих температурах кварцевого стекла приводит к тому, что концентрация возбужденных атомов галлия недостаточна даже для выявления его спектра. Необходимая концентрация в разряде атомов галлия может быть достигнута введением в лампу иодистого соединения галлия, имеющего достаточно высокую упругость паров при рабочих температурах кварца и обладающего известным набором необходимых свойств [Л. 4], достаточным для образования замкнутого галоидного цикла в газоразрядном источнике.

В настоящей статье приводятся некоторые результаты исследования ртутно-галлиевого разряда высокого давления, которые могут быть использованы для разработки селективного источника с преимущественным излучением в области 400—420 *нм*.

Основной эксперимент проводился при введении в лампу дозированного количества иодида галлия, который полностью испарялся, и давление его паров практически оставалось неизменным при вариации остальных параметров. Давление паров ртути изменялось в соответствии с температурой холодного резервуара колбы — отростка. Рабочий диапазон давлений паров ртути был выбран от 1 до 10 *атм*. Удельные дозировки иодида галлия варьировались от 0,007 до 0,200 *мг/см³*. Измерения проводились на лампах с внутренним диаметром 16 и 24 *мм* при удельных электрических нагрузках 10—20 *вт/см²*. При изменении давления паров ртути мощность лампы поддерживалась постоянной.

Спектральные характеристики положительного столба ртутно-галлиевого разряда измерялись для средней части столба разряда. Вследствие «расслоения» разряда по высоте столба результаты эксперимента являются количественно достоверными в определенной окрестности средней части столба разряда (30—50% от межэлектродного расстояния 120 *мм*) и могут в первом приближении считаться удельными характеристиками столба только в случае малых давлений (<50 *мм рт. ст.* иодида галлия).

Анализ полученных зависимостей (рис. 1) позволяет утверждать следующее.

1. Сила излучения резонансных линий галлия $\lambda=417{,}2$ *нм* и $\lambda=403{,}3$* *нм* при постоянной электрической мощности лампы и фиксированном давлении паров иодида галлия экстремально зависит от давления паров ртути. Максимум силы излучения указанных линий галлия наблюдается при давлении паров ртути порядка 8—10 *атм*, заметно смещаясь в сторону меньших давлений с увеличением дозировки (давления паров) иодида галлия. При увеличении удельной электрической мощности P_1 и неизменных остальных параметрах максимум силы излучения линий галлия смещается в сторону больших давлений паров ртути. Сила излучения этих линий растет почти линейно с ростом P_1 при фиксированном давлении паров ртути и добавки. То же самое можно сказать и об основных линиях ртути.

2. По абсолютной величине максимальная сила излучения линий галлия $\lambda=417{,}2$ *нм* и $\lambda=403{,}3$ *нм* в 4—7 раз и 2—5 раз, соответственно, превышает максимальное значение силы излучения ртутных линий $\lambda=435{,}8$ *нм* и $\lambda=365/6{,}3$ *нм*, лежащих в интересующем нас диапазоне спектра.

3. Для зеленой ($\lambda=546{,}1$ *нм*) и синей ($\lambda=435{,}8$ *нм*) линий ртути обнаружен максимум излучения при давлении паров ртути порядка 4—6 *атм*, очерченный особенно резко при малых давлениях паров добавки (20 и 50 *мм рт. ст.*).

4. Сила излучения линий ртути с высоким потенциалом возбуждения ($\lambda=577{,}0/9$ *нм* и $\lambda=365/6{,}3$ *нм*) при малых дозировках иодида галлия имеет максимум при давлении паров ртути порядка 2,5—3,5 *атм*. В случае больших дозировок (давлений) добавки (рис. 1,*б*) условия эксперимента соответствовали ниспадающему участку зависимостей силы излучения упомянутых линий в функции давления паров ртути.

Градиент потенциала положительного столба E определялся по формуле

$$E=\frac{U_л-U_{а.к}}{l_э},$$

где $U_л$ — напряжение на лампе; $U_{а.к}$ — анодно-катодное падение, принятое равным 14 *в*; $l_э$ — межэлектродное расстояние лампы. Результаты измерений (рис. 2) показывают, что градиент потенциала ртутно-галлиевого разряда на 2—3 *в/см* ниже градиента потенциала чисто ртутного разряда при тех же условиях.

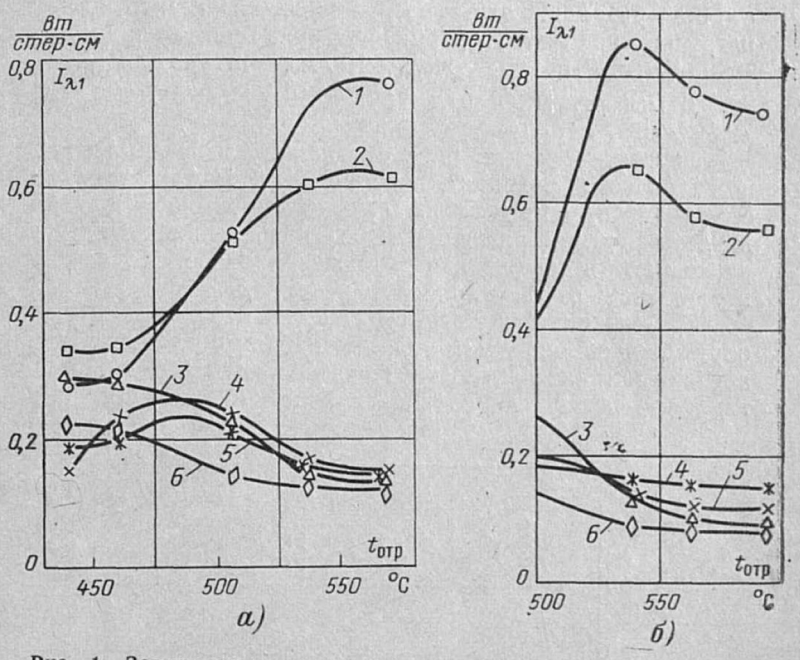
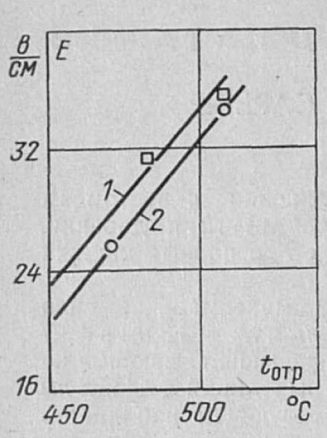


Рис. 1. Зависимость силы излучения с 1 *см* длины основных линий ртутно-галлиевого разряда высокого давления от температуры отростка.

а — $d_1=16$ *мм*; $P_1=73$ *вт/см*; $P_{Hg\ макс}\approx 7\,600$ *мм рт. ст.*; $P_{GaJ_3}\approx 20$ *мм рт. ст.*; *1* — 417 *нм*; *2* — 403/5 *нм*; *3* — 365 *нм*; *4* — 546 *нм*; *5* — 435 *нм*; *6* — 579 *нм*.

б — $d_1=16$ *мм*; $P_1=77$ *вт/см*; $P_{Hg\ макс}\approx 7\,600$ *мм рт. ст.*; $P_{GaJ_3}\approx 150$ *мм рт. ст.*; *1* — 417 *нм*; *2* — 403/5 *нм*; *3* — 365 *нм*; *4* — 435 *нм*; *5* — 546 *нм*; *6* — 579 *нм*.

* Последняя, практически, неразделима с ртутным дублетом $\lambda=404{,}7$ *нм* и $\lambda=407{,}8$ *нм*, спектральная сила излучения которого значительно уступает по величине излучению линии галлия, поэтому в дальнейшем мы будем считать, что имеем дело только с излучением линии $\lambda=403{,}3$ *нм*.



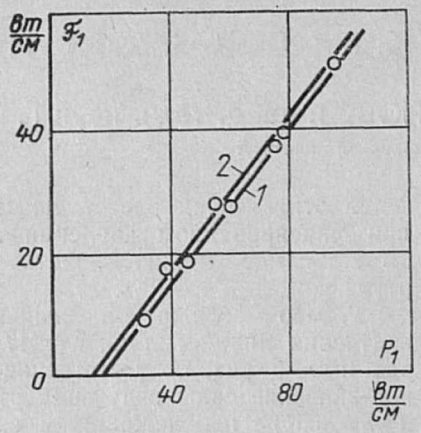


Рис. 2. Зависимость градиента потенциала ртутно-галлиевого разряда от температуры отростка.

1 — $P_1=60$ *вт/см*; *2* — $P_1=85$ *вт/см*. $d_1=16$ *мм*, $P_{Hg\ макс}\approx 7\,600$ *мм рт. ст.*; $P_{GaJ_3}\approx 100$ *мм рт. ст.*

Рис. 3. Зависимость лучистого потока ртутно-галлиевого разряда от удельной электрической мощности.

1 — $d_1=16$ *мм*; $P_{GaJ_3}\approx 20$ *мм рт. ст.*; *2* — $d_1=16$ *мм*; $P_{GaJ_3}\approx 150$ *мм рт. ст.*

Интегральная мощность излучения столба измерялась для ламп диаметром 16 и 24 *мм* в функции удельной электрической мощности для определения тепловых потерь в ртутно-галлиевом разряде. Из приведенных на рис. 3 зависимостей видно, что тепловые потери в ртутно-галлиевом разряде практически не зависят от давления паров иодида галлия. Обобщая результаты эксперимента, можно записать усредненную формулу для интегрального излучения ртутно-галлиевого разряда в виде:

$$\mathcal{F}_1\approx 0{,}8(P_1-16),$$

где $\mathcal{F}_1$ — удельный лучистый поток положительного столба разряда, *вт/см*; P_1 — удельная электрическая нагрузка на лампу, *вт/см*. Формула справедлива при 30 *вт/см* $\leqslant P_1 \leqslant$ 150 *вт/см*, 10 *мм рт. ст.* $\leqslant P_{GaJ_3} \leqslant$ 150 *мм рт. ст.*, 4 *атм* $\leqslant P_{Hg} \leqslant$ 10 *атм*, 15 *мм* $\leqslant d_1 \leqslant$ 30 *мм*.

Энергетический к. п. д. суммарного излучения ртутно-галлиевого разряда, начиная с нагрузок порядка 65 *вт/см*, превосходит к. п. д. суммарного излучения в чисто ртутном разряде [Л. 5]. Последнее объясняется различием в эффективных потенциалах возбуждения в ртутном и ртутно-галлиевом разрядах.

Эффективная температура положительного столба определялась по методу, основанному на измерении абсолютной интенсивности группы желтых линий ртути, слабо поглощающихся в разряде [Л. 6]. В пределах

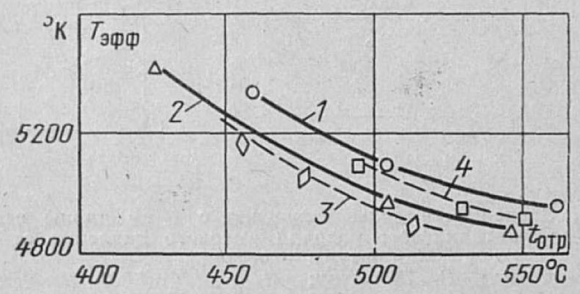


Рис. 4. Зависимость эффективной температуры ртутно-галлиевого разряда от температуры отростка.

1 — $P_{GaJ_3}\approx 20$ *мм рт. ст.*, $P_1=73{,}5$ *вт/см*; *2* — $P_{GaJ_3}\approx 20$ *мм рт. ст.*, $P_1=55$ *вт/см*; *3* — $P_{GaJ_3}\approx 50$ *мм рт. ст.*, $P_1=48{,}5$ *вт/см*; *4* — $P_{GaJ_3}\approx 150$ *мм рт. ст.*, $P_1=77$ *вт/см*.

точности эксперимента можно считать, что температура столба ртутно-галлиевого разряда при давлении паров ртути 8—10 *атм* и в диапазоне удельных нагрузок от 10 до 16 *вт/см*², при давлении иодида от 10 до 200 *мм рт. ст.* лежит в интервале между 4 800—5 100 °C, т. е. существенно уступает эффективной температуре чисто ртутного разряда при тех же условиях (рис. 4).

Ионизационное состояние ртутно-галлиевой плазмы. оказывает влияние на концентрацию нормальных атомов добавки и, следовательно, на выход ее излучения [Л. 6], что может проявиться, в частности, в зависимости силы излучения резонансного дублета галлия от давления паров ртути. Для объяснения этой зависимости нами был проведен расчет степени ионизации в разряде галлиевой и ртутной компоненты.

Предполагая существование в разряде ЛТР, запишем в общем виде систему уравнений для расчета степени ионизации n-компонентной плазмы:

$$\prod_{K=1}^{n}\frac{X_k}{1-X_k}\sum_{K=1}^{n}X_K P_K=\frac{(2\pi m)^{3/2}(KT)^{5/2}}{h^3}\exp\left(-\frac{U_{ik}}{KT}\right).$$

Исключая из рассмотрения уравнение, соответствующее иодной компоненте (давление паров иода того же порядка, что давление паров галлия, но потенциал ионизации существенно выше потенциала ионизации галлия), перейдем к задаче расчета степени ионизации двухкомпонентной ртутно-галлиевой плазмы.

После ряда преобразований и упрощений получим окончательные уравнения для определения степени ионизации ртутной и галлиевой компоненты

$$\frac{\Delta}{X_{Hg}P_{Ga}-\Delta}\left(\frac{\Delta}{X_{Hg}}+X_{Hg}P_{Hg}\right)=A_1;\ X_{Ga}=\frac{\Delta}{X_{Hg}P_{Ga}},$$

где $\Delta=A_2-X^2_{Hg}P_{Hg}$; P_{Hg}, P_{Ga} — давления паров и X_{Hg}, X_{Ga} — степень ионизации ртути и галлия; A_1, A_2 — некоторые функции температуры и рода атомов.

Расчет проводился для трех давлений паров добавки (10, 50 и 200 *мм рт. ст.*) и двух давлений паров ртути (5 и 10 *атм*) в диапазоне изменения температуры столба разряда от 4 000 до 5 500 °K. Зависимость степени ионизации галлиевой компоненты от температуры столба разряда при различных давлениях добавки приведена на рис. 5. Максимальная степень ионизации атомов галлия в ртутно-галлиевом разряде для рассмотренных условий, как это следует из расчета, не превышает 20%; степень ионизации атомов ртути оказывается существенно ниже и не превосходит при допустимых электрических нагрузках $2{,}5\cdot 10^{-2}$%.

Обсуждение зависимостей спектральных характеристик разряда от давления паров. Экстремальная зависимость силы излучения резонансных линий галлия $\lambda=417{,}2$ и $\lambda=403{,}3$ *нм* от давления паров ртути, при постоянном давлении паров иодида (рис. 1) на первый взгляд противоречит монотонному снижению температуры канала ртутно-галлиевого разряда. Как следует из рис. 4 и 5, степень ионизации атомов галлия может снизиться с ростом давления паров ртути и меняться в исследуемых условиях от 18 до 4% (предполагается полная диссоциа-

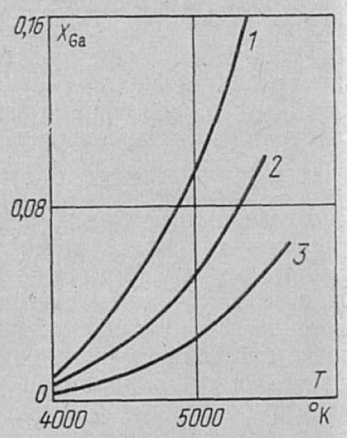


Рис. 5. Зависимость степени ионизации атомов галлия от температуры.

$P_{Hg}=5$ *атм*; *1* — $P_{Ga}=10$ *мм рт. ст.*; *2* — $P_{Ga}=50$ *мм рт. ст.*; *3* — $P_{Ga}=200$ *мм рт. ст.*

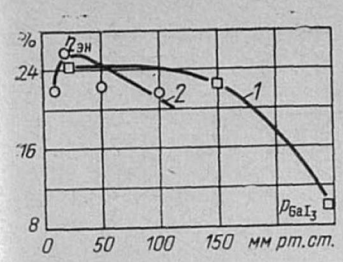


Рис. 6. Зависимость к. п. д. резонансного дублета галлия от давления паров иодида. $P_{Hg}=9$ *атм*; $1 - d_1=16$ *мм*; $2 - d_1=24$ *мм*.

ция иодида галлия), что пренебрежимо мало скажется на изменении концентрации нормальных атомов галлия в разряде и не может оказать заметного влияния на ход обсуждаемой зависимости.

Другим возможным механизмом, приводящим к росту интенсивности излучения линий галлия с ростом давления паров ртути, является увеличение «выхода излучения» в свете галлиевого дублета, вследствие уширения линий, обусловленного концентрационным влиянием буферного газа (ртути) и «выноса» значительной части энергии краями контура линии [Л. 7]. Прямой эксперимент, проведенный авторами в [Л. 7], показал, что основной причиной, вызывающей рост излучения линий добавок с увеличением давления буферного газа, является уширение их под действием постороннего газа, концентрация которого значительно выше концентрации добавки. Полученные нами зависимости можно рассматривать как еще одно экспериментальное подтверждение данной гипотезы.

Экстремальный характер зависимости излучения галлиевых линий от давления ртути объясняется, очевидно, совместным действием температуры канала разряда и уширяющего действия буфера с ростом давления последнего.

В отличие от чисто ртутного разряда, в тех же условиях, в ртутно-галлиевом разряде был обнаружен максимум силы излучения зеленой линии ртути $\lambda=546$ *нм*. Это объясняется более резким падением температуры по сравнению с чисто ртутным разрядом, которое не может компенсироваться ростом концентрации нормальных атомов ртути. Различие в потенциалах возбуждения линий 365 и 546 *нм* сказывается на положении максимумов силы излучения этих линий: максимум силы излучения линии $\lambda=546$ *нм* смещен в сторону более высоких давлений ртутного пара, а левая граница области измерений практически совпадает с началом ниспадающей ветви излучения линии $\lambda=365$ *нм*.

На рис. 6 представлена зависимость к. п. д. резонансного дублета галлия, определяющего, по существу, эффективность источника от давления паров иодида. Спад к. п. д. линий галлия с ростом давления паров последнего происходит вследствие падения температуры, увеличивающегося самопоглощения резонансного дублета и ухудшения стабильности разряда (нестабильность отчетливо наблюдалась при наибольших для данного диаметра удельных дозировках иодида).

Измерения лучистых характеристик макетных образцов ртутно-галлиевых источников мощностью 2,5 *квт* с давлением паров ртути 9 *атм* и иодида галлия 20 *мм рт. ст.* показали, что энергетический к. п. д. резонансного дублета галлия $\lambda=403/417$ *нм* достигает 30%.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Характер зависимости силы излучения основных линий ртутно-галлиевого разряда от давления паров ртути качественно объясняется на основе представлений термической теории столба разряда с привлечением представлений о влиянии буферного газа на выход из разряда резонансных линий добавки.

2. Полученные данные могут быть использованы при создании квазимонохроматического источника, излучающего в узком спектральном интервале 400—420 *нм* до 30% подводимой электрической мощности.

Литература

1. Японский патент кл. 93Д221, № 27228.
2. Японский патент кл. 93221, № 5154.
3. Кубо Ю. и др. «Мицубиси дэнки гихо», 1966, т. 40.
4. Рохлин Г. Н., Сарычев Г. С. Сб. «Источники света», вып. 3. Изд. Информстандартэлектро, 1964.
5. Elenbaas W. The high pressure mercury vapour discharge, Amsterdam. 1951.
6. Сарычев Г. С., Гаврилкина Г. Н., Ермаков А. И. и Буханов Ю. А. «Светотехника», 1967, № 6.
7. Гаврилкина Г. Н., Сарычев Г. С. «Светотехника», 1969, № 12.

УДК 628.4

НОВЫЕ СЕРИИ СВЕТИЛЬНИКОВ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ЛАМПАМИ ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Инженеры Г. Р. ЛИЕПИНЬШ, Г. И. АГАФОНОВ, канд. техн. наук Е. Б. ШЕФТЕЛЬ, инж. Г. Л. КАЗАКОВА

Рижский светотехнический завод, Всесоюзный светотехнический институт

Конструкторское бюро Рижского светотехнического завода (РСЗ) в 1971 г. разработало совместно с ВНИСИ ряд крупных серий светильников, предназначенных для освещения помещений общественных зданий, в том числе светильники, рассматриваемые в настоящей статье.

Новая серия ЛСО02 подвесных светильников рассеянного света предназначена для общего освещения школьных классов и других помещений общественных зданий с нормальными условиями среды (рис. 1—3). В серию входят светильники с люминесцентными лампами мощностью 40, 65 и 80 *вт*, а также светильник с люминесцентными лампами мощностью 40 *вт* и эритемной лампой мощностью 30 *вт* для освещения и компенсации ультрафиолетовой недостаточности в школах Крайнего Севера.

Светильники серии ЛСО02 предназначены для замены подвесных светильников типа ШОД, которые были разработаны в 1958 г. и выпускались в больших количествах в течение многих лет. Несмотря на высокие светотехнические характеристики, эти светильники в настоящее время подлежат снятию с производства как морально и конструктивно устаревшие.

Серия ЛСО02 содержит 5 типоразмеров светильников, которые имеют три модификации: 01 — с металлической боковиной и металлической экранирующей решеткой; 02 — с металлической боковиной и пластмассовой экранирующей решеткой; 03 — с боковиной из светорассеивающей пластмассы и металлической экранирующей решеткой.

В табл. 1 приводится номенклатура светильников, входящих в серию ЛСО02, и их основные характеристики.

Базой и несущим элементом светильника является штампованный стальной корпус П-образного профиля (рис. 3). В корпусе размещена стартерная пускорегулирующая аппаратура и ламподержатели (в двухламповых светильниках), и выполнен монтаж электрической схемы. Снизу корпус закрывается отражателем, который крепится безвинтовым способом с помощью специальных бортиков. Безвинтовым способом крепится к корпусу также пластмассовая торцевина, одновременно являющаяся несущим элементом для боковин и экранирующей решетки. Борта в металлической боковине используются для крепления экранирующей решетки, которая совместно с боковинами обеспечивает защит-