

04;05;07;12

Широкоапертурный катодлюминесцентный источник света на основе открытого разряда

© Е.А. Муратов, А.Т. Рахимов, Н.В. Суетин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
 Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцина,
 119899 Москва, Россия
 e-mail: muratov@dnph.phys.msu.su

(Поступило в Редакцию 17 июня 2003 г.)

Обсуждается возможность создания эффективного источника света большой яркости с использованием открытого разряда (ОР). Представлены экспериментальные результаты, полученные в ходе исследований световых характеристик различных катодлюминесцентных экранов. Возбуждение люминофорных покрытий осуществлялось электронным пучком, который инициируется плоским катодно-сеточным инжектором в инертной газовой среде. Обсуждаются возможности использования непрерывного и периодического способов возбуждения газовой среды светового излучателя для реализации устойчивого режима горения ОР. Использование „зеркального“ способа возбуждения люминофорного покрытия экрана позволило достичь довольно высоких значений яркости и световой эффективности по сравнению с соответствующими характеристиками для катодлюминофоров.

Конструктивное исполнение катодно-сеточного узла излучателя не имеет принципиальных ограничений при реализации больших размеров площади инжектора электронов, что является перспективным для создания источников света большой апертуры.

Введение

Разработка и создание эффективных, конструктивно простых, дешевых и долговечных источников света (ИС) для различных применений являются определяющим направлением в развитии современной светотехники. Очевидно, что в различных областях целевого использования к источникам излучения предъявляются существенно различные требования по яркости, цветовой гамме излучения, энергетической эффективности, ресурсу, размерам, диаграмме направленности светового потока и т.д. Зачастую эти требования взаимно противоречивы и не могут быть удовлетворены с использованием уже имеющихся ИС.

Авторами был предложен [1] новый газоразрядный источник света на основе так называемого открытого разряда (ОР) [2]. Принципиальной особенностью этого источника света является использование прямого возбуждения люминофорного экрана электронным пучком, на формирование которого идет более 80% полной энергии, вложенной в разряд [3]. Отметим, что благодаря именно этим свойствам открытый разряд неоднократно использовался для эффективного возбуждения активной среды газовых лазеров [4].

Описание конструкции источника

Предлагаемый источник света может быть выполнен в стеклянном или металлокерамическом корпусе с прозрачным экраном, покрытым люминофором. Химический состав люминофорного покрытия определяет цветовую гамму излучения (R , G , B , Y и т.п.). Электродная система излучателя довольно проста и представляет

собой плоский (или сетчатый) металлический катод и сетчатый анод, расположенные параллельно с малым зазором. Источник света является газонаполненным прибором. При этом важно отметить, что рабочей газовой средой являются только инертные газы без примесей паров ртути или других элементов, обычно используемых в газоразрядных источниках света. За счет подбора параметров в такой системе организуется разряд, в котором большая часть электронов существует в виде высокоэнергетического пучка, который, проходя через сетку (анод), возбуждает люминофор.

Для измерения основных характеристик предлагаемого источника света, главной из которых является эффективность преобразования электрической энергии в световую, нами было создано несколько экспериментальных образцов, отличающихся в основном конструктивными характеристиками электродных узлов и габаритами прибора в целом. На рис. 1 представлена принципиальная схема, поясняющая работу источника света на основе ОР.

Электрическое напряжение подводится к катоду устройства 3 от высоковольтного источника питания 1, который может работать как в непрерывном, так и в импульсно-периодическом режимах. В этом случае электродная система катод–сетка является инжектором электронов с энергией, равной величине приложенного к катоду напряжения. Эти электроны проходят сквозь сетку в дрейфовое пространство (между сетчатым анодом и экраном), где тратят часть энергии на возбуждение и ионизацию газа. Положительные ионы и фотоны, образованные в дрейфовом пространстве, проникают обратно через сетчатый анод и вызывают вторичную электронную эмиссию непосредственно с поверхности

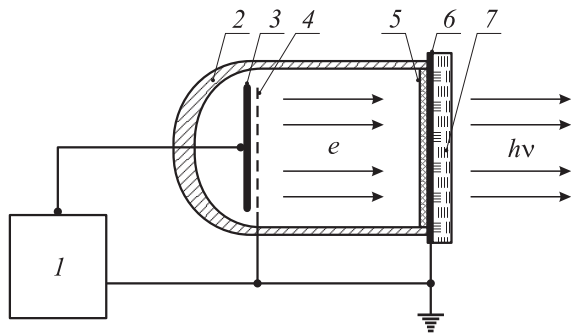


Рис. 1. Схема светового источника на основе открытого разряда. 1 — источник напряжения; 2 — корпус излучателя (стекло, керамика); 3 — катод, 4 — сетка (анод); 5 — люминофорное покрытие; 6 — проводящий слой ИТО; 7 — экран (стекло).

катода. Таким образом поддерживается ОР, в котором основная часть электронов формируется в виде высокоэнергетического пучка, который в свою очередь возбуждает люминофорное покрытие экрана лампы.

Энергетические характеристики и режимы работы источника света

Как уже отмечалось, генерация электронного пучка возникает при подаче на катод отрицательного напряжения от источника питания. Минимальное напряжение, при котором реализуется ОР, определяется порогом зажигания разряда, а величина допустимого максимального значения ограничена областью устойчивости самого разряда.

Исследовались два режима поддержания разряда — непрерывный и импульсно-периодический.

Эксперименты с использованием непрерывного режима генерации электронного пучка позволили получить высокие уровни света (несколько тысяч kd/m^2). Важно заметить, что такие высокие яркости сегодня получают только в лампах с добавками ртути, натрия или серы.

На рис. 2 приведены измеренные значения яркости в зависимости от давления газа и газоразрядного напряжения. Как видно из рисунка, уровень яркости источника отслеживает величину плотности тока пучка на люминофорный экран и линейно растет с увеличением давления газа. Однако повышение давления газа приводит к нежелательному падению энергетической эффективности источника света (рис. 3), что связано с ростом потерь энергии электронов в газе. Более того, дальнейшее повышение газового давления нарушает устойчивое и однородное горение разряда.

На рис. 4 приведены данные, показывающие, что яркость источника света можно повысить также за счет увеличения энергии электронов (мощности электронного пучка). При этом избежать развития неустойчивости разряда в условиях повышенного напряжения на катоде нам может помочь использование квазинепрерывного режима инициирования электронного пучка.

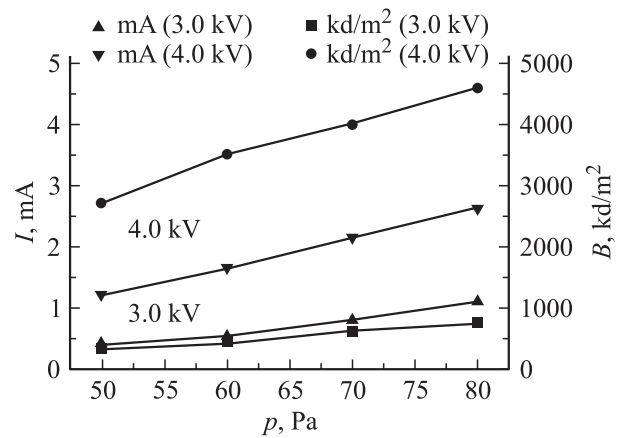


Рис. 2. Зависимость яркости свечения лампы (B) и тока на экран (I) от плотности газовой среды. Площадь экрана 20 cm^2 . Водород, люминофор $\text{ZnS}:\text{Cu}, \text{Al}$.

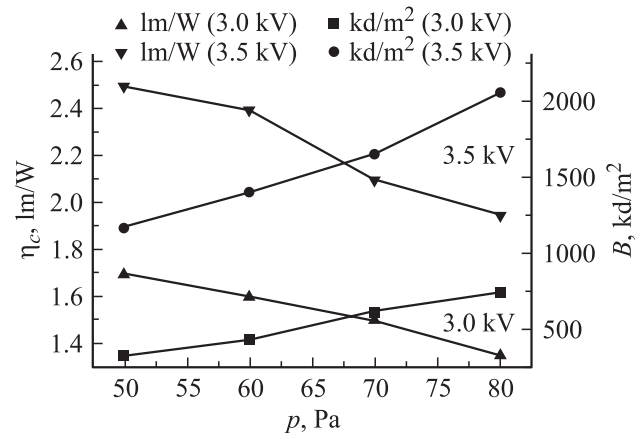


Рис. 3. Зависимость яркости (B) и энергетической эффективности (η) источника света от давления рабочего газа. Водород, люминофор $\text{ZnS}:\text{Cu}, \text{Al}$.

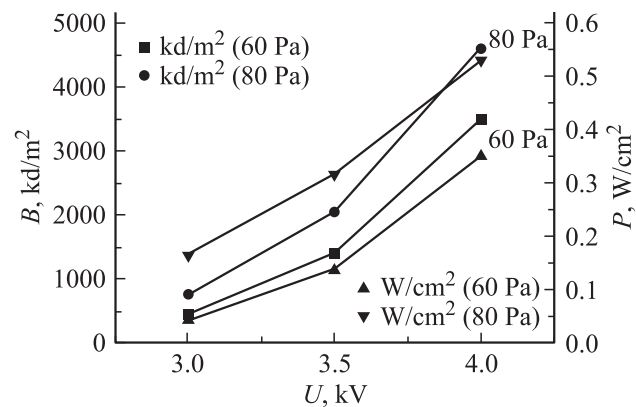


Рис. 4. Зависимость яркости источника и мощности электронного пучка от напряжения на катоде. Водород, люминофор $\text{ZnS}:\text{Cu}, \text{Al}$.

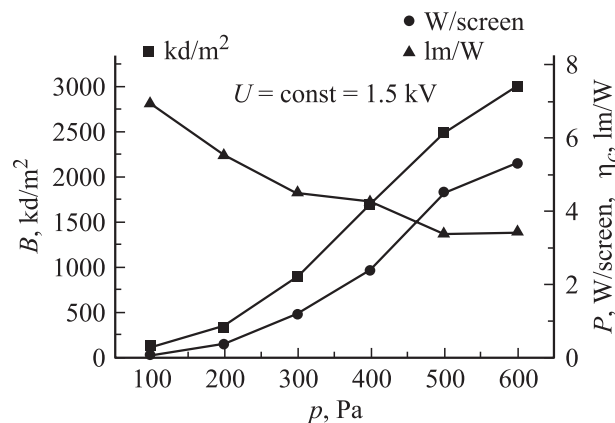


Рис. 5. Зависимость яркости лампы (B), мощности пучка электронов (P) и энергетической эффективности прибора в целом (η_c) от давления рабочей газовой среды. Площадь экрана лампы 20 cm^2 . Гелий, люминофор ZnS:Cu, Al .

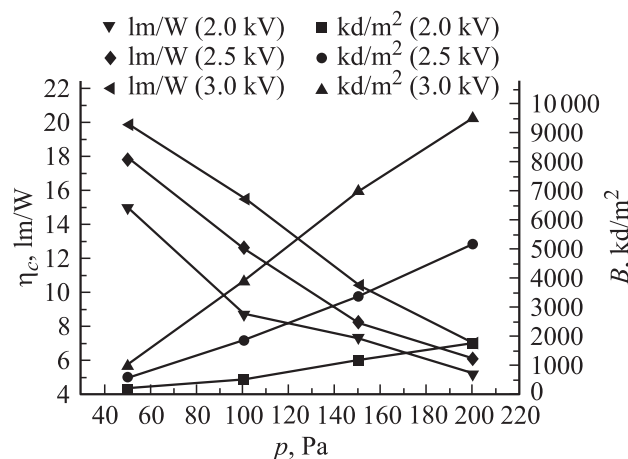


Рис. 6. Зависимость яркости (B) и энергетической эффективности излучателя (η_c) от давления газовой среды. Гелий, люминофор ZnS:Cu, Al .

Действительно, применение квазинепрерывного режима поддержания ОР (длительность импульсов возбуждения $\sim 10 \mu\text{s}$, частота следования $1-10 \text{ kHz}$) позволило осуществить устойчивый режим работы прибора при повышенном давлении газа и сравнительно низких значениях энергии пучка. Однако, как уже отмечалось, с увеличением плотности газа мы вновь сталкиваемся с экспериментальным фактором падения энергетической эффективности источника (рис. 5).

Экспериментальные результаты, представленные на рис. 6 и 7, получены в условиях импульсно-периодического режима инициирования электронного пучка и наглядно демонстрируют характер зависимости яркости излучения светового источника от плотности газовой среды и величины напряжения на катоде прибора. Очевидно, чтобы достичь значительных уровней яркости, целесообразно использовать в первую очередь более энергетичные электронные пучки. Тем более что при увеличении давления газа резко падает эффективность

источника, а при увеличении энергии электронов наблюдается ее рост.

С целью более эффективного использования светоизлучающей способности люминофора на практике часто используется метод, позволяющий максимально полно использовать высвечивание всей суммарной поверхности слоя люминофора. С этой целью применяется дополнительное напыление тонкого слоя Al на люминофор со стороны падающего электронного пучка. При этом свет возбужденного слоя люминофора, излучаемый в направлении дрейфового пространства, отражается от пленки Al и, проходя обратно через достаточно тонкий люминофорный слой ($8-10 \mu\text{s}$), вносит дополнительный вклад в излучение экрана прибора. Возбуждение люминофора при этом осуществляется электронами с энергией, превышающей энергетический порог прозрачности алюминиевого покрытия.

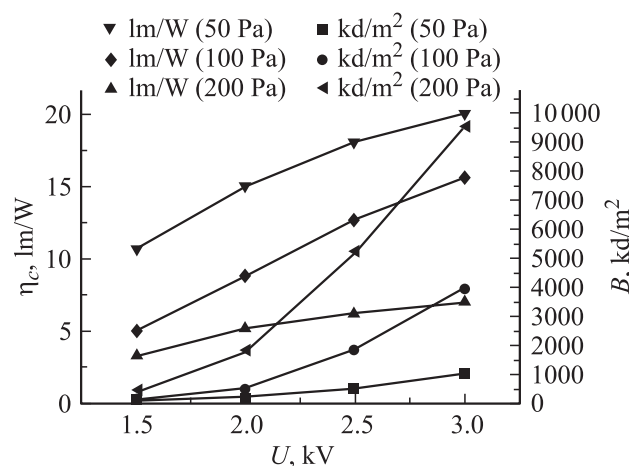


Рис. 7. Зависимость яркости (B) и эффективности источника света (η_c) от энергии электронного пучка для различных давлений газа. Гелий, люминофор ZnS:Cu, Al .

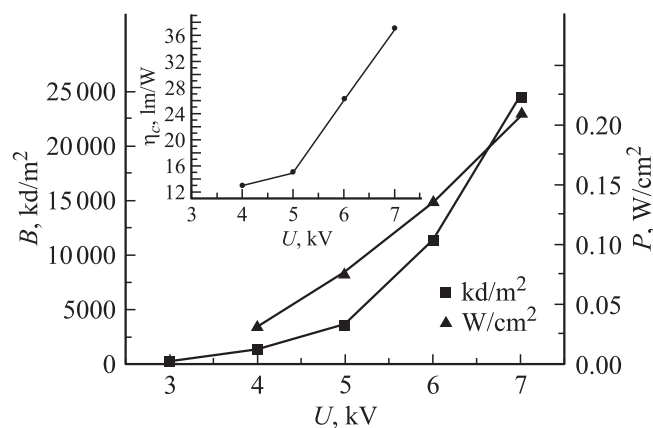


Рис. 8. Зависимость яркости (B), эффективности источника света (η_c) и мощности электронного пучка (P) от напряжения на катоде (при использовании отражающего алюминиевого покрытия люминофорного слоя). Аргон, люминофор „КБ-3“+Al.

На рис. 8 приведены экспериментальные данные, которые наглядно демонстрируют, что в данном случае „включение люминофора“ происходит при значениях напряжения на катоде прибора, превышающих 3 кV (что определяется толщиной пленки Al).

Использование так называемого „зеркального эффекта“ позволило нам достичь значительных уровней яркости источника света ($\sim 25.000 \text{ kd/m}^2$) при сравнительно высокой энергетической эффективности ($\sim 35 \text{ lm/V}$).

Заключение

Экспериментальные данные, представленные в настоящей работе, являются определяющими для реализации проекта создания мощного светового источника с использованием ОР в инертной газовой среде. Простота конструкции и дешевизна элементарной базы источника могут в определенном смысле иметь коммерческий интерес в создании таких излучателей. Площадь светового поля источника на основе открытого разряда легко может быть увеличена, что дает возможность использования его для создания широкоапертурных излучателей высокой интенсивности.

Более того, предпочтительным оказывается то обстоятельство, что в процессе эксплуатации подобные источники могут со временем лишь медленно тускнеть (ресурс катода и деградация газовой среды), а не перегорать мгновенно.

Перечислим возможные области применения световых источников на основе ОР: светофоры, дорожные указатели, информационные табло, бегущая строка, рекламные щиты, световая разметка взлетно-посадочной полосы, авиационные и автомобильные дисплеи и т. п.

Немаловажным является тот факт, что эксплуатация прибора данного типа исключает наличие экологически вредных компонент в газовой среде излучателя (в отличие от люминесцентных ламп с ртутным наполнением).

Авторы выражают особую благодарность Д.В. Лопаяеву за помощь в проведении экспериментов и полезные обсуждения полученных результатов.

Список литературы

- [1] Муратов Е.А., Рахимов А.Т., Суетин Н.В. // Патент РФ2155416. 2002. Патент US6005343. 1999.
- [2] Бохан П.А., Сорокин А.Р. // ЖТФ. 1985. Т. 55. Вып. 1. С. 88–95.
- [3] Kovalev A.S., Mankelevich Yu.A., Muratov E.A. et al. // J. Vac. Sci. Tech. 1992. Vol. A 10(4). P. 1086–1091.
- [4] Бутенин В.М. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов. М.: РФФИ, 1998. Гл. 9. С. 510–540.