

УДК 621.327.534:546.13

О БЕЗРУТНЫХ МАСТАЛЛОГАЛОГЕННЫХ ЛАМПАХ ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

С. Г. АШУРКОВ, канд. техн. наук, И. В. КОПТЕЛОВ, инж., И. Ф. МИНАЕВ, канд. техн. наук, Ю. А. ПРЫТКОВ, инж., Г. С. САРЫЧЕВ, доктор техн. наук

Всероссийский светотехнический институт им. С. И. Вавилова, СПО «Лисма»

В последнее время повысился интерес к проблеме создания безрутных РЛ высокой интенсивности (ВИ) с излучающими добавками (ИД) — прежде всего ксеноновых МГЛ (КсМГЛ), все чаще рассматриваемых в качестве экологической альтернативы ртутьодержащим РЛ ВИ [1], использование которых особенно критично для условий эксплуатации в закрытых помещениях, где даже незначительная «течка» ртути из ламп может создавать десятки, а то и сотни предельно допустимых концентраций паров ртути в воздухе. Несмотря, однако, на наличие важного экспериментального материала, представленного в [1], сведений, необходимых для разработчиков КсМГЛ, пока явно не хватает. Более того, отдельные данные имеют расхождения и потому нуждаются в проверке и уточнении.

Исходя из этого ВНИСИ и СПО «Лисма» начаты комплексные исследования по созданию собственной информационной базы для разработки рациональных КсМГЛ и безрутных МГЛ вообще, предназначенных в первую очередь для эксплуатации в закрытых помещениях (лампы технологического, сельскохозяйственного, лечебно-профилактического и косметологического назначений). Содержанием этой базы по мысли авторов должны были явиться: а) данные по спектроэнергетическим, электро- и теплотехническим характеристикам КсМГЛ с различными металлогалогенными (МГ) излучающими монодобавками в широком диапазоне параметров разряда, представляющие не только самостоятельный практический интерес (например, для создания отдельных технологических КсМГЛ), но и служащие первоосновой для рационального, в том числе оптимального, построения различных КсМГЛ со смесями МГ ИД (необходимые, в частности, на этапе неформализованных решений при планировании экстремальных экспериментов); б) сведения о технологических особенностях производства КсМГЛ и требования к материалам для них; в) основные требования к ПРА для КсМГЛ; г) примеры реализации макетов КсМГЛ, включая данные их стендовых и эксплуатационных испытаний, в том числе ресурсных, а также прочие количественные данные, дополняющие и уточняющие техническую сторону проблемы в целом.

В настоящей публикации освещается часть экспериментального материала указанного характера, непосредственно относящегося к решаемой ВНИСИ и СПО «Лисма» задаче создания КсМГЛ для растениеводства защищенного грунта (тем более, что именно эта задача осталась практически не затронутой в литературе), и, как хотелось бы думать, представляющая общий интерес для специалистов в области РЛ ВИ. Заметим, что, несмотря на отсутствие общепризнанных методов оптимизации даже традиционных, ртутьодержащих растениеводческих РЛ ВИ, а тем более безрутных (с учетом указанного экологического фактора), не будет большой ошибкой полагать, учитывая [2, 3], что и безрутная растениеводческая РЛ ВИ должна обладать, как минимум: а) достаточно высоким энергетическим КПД излучения в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) ($380 \div 710$ нм) $\eta_{\text{Ф}}(\lambda)$; б) заданным для данной группы растений соотношением долей $\eta_{\text{Ф}}(\lambda)$ в условно синей ($380 \div 500$ нм), зеленой ($500 \div 600$ нм) и красной ($600 \div 710$ нм) зонах области ФАР, обозначаемых ниже как K_c , K_z и K_k соответственно (по определению $K_c + K_z + K_k = 100\%$); в) приемлемо низкими КПД излучения в области $\lambda < 300$ нм, что достигается с помощью наружной стеклянной колбы, и в ближней ИК области, а также заданными КПД излучения в прилежащих к области ФАР участках УФ и видимого спектра. Кроме того, для облегчения создания компактных (наиболее подходящих в данном случае) конструкций ламп они должны иметь достаточно высокий

градиент среднего электрического потенциала столба разряда, а временная стабильность их спектроэнергетических параметров должна позволять достигать срока службы не менее 1,5—2 тыс. ч. Указанными обстоятельствами определилась, в основном, специфика описываемых ниже экспериментов. Их основная часть проводилась на экспериментальных трубчатых горелках, изготовленных из кварцевого стекла марки ТК производства СПО «Лисма», на переменном токе частотой 50 Гц с использованием регулируемого индуктивного балласта и специального импульсного зажигающего устройства.

С учетом анализа [1] и собственных предварительных экспериментов [4] были выбраны некоторые «представительные» значения начального давления Xe P_{Xe} и внутреннего диаметра горелки, равные 53,3 кПа и 10 мм соответственно. Горелки имели по 2 электрода из торированного вольфрама, активированные Y_2O_3 (от лампы типа ДРИ700). Межэлектродное расстояние (длина светящей части) равнялось 100 мм. В качестве излучающих монодобавок были выбраны GaI_3 , InI , TlI , NaI и LiI — одни из наиболее традиционных компонентов («синие», «зеленые», «красные») смесей ИД для растениеводческих МГЛ (заметим, что получение крайне гигроскопичного GaI_3 проводилось по способу [5] — непосредственно в горелке, при ее первом включении, из исходной стехиометрической смеси Ga с PbI_2 согласно уравнению $Ga + (3/2)PbI_2 = GaI_3 + (3/2)Pb$). Для сравнения были изготовлены также горелки с пониженным давлением $P_{Xe} = 13,3$ кПа и некоторыми из указанных ИД.

При измерениях горелки устанавливались горизонтально, вдоль оси цилиндрического стеклянного баллона от растениеводческой МГЛ типа ДРИ1000-6, что сближало условия экспериментов и конструктивные особенности указанных МГЛ. Мощность горелок при измерениях составляла 850 Вт, что по оценкам, выполненным с помощью термопары типа «ХА», соответствовало средней температуре поверхности колб горелок около 1000 К ($1030 \div 1050$ К сверху и 970 К внизу). Такой выбор мощности экспериментальных ламп (горелка плюс баллон) P_d был обусловлен, с одной стороны, приемлемостью нагрузки на стенки кварцевых горелок по сроку службы, а с другой — обеспечением достаточно эффективного испарения указанных ИД со стенок горелок.

Для регистрации излучения в различных участках спектра использовались фотоумножители типов ФЭУ-100 и ФЭУ-62, питающиеся от выпрямителей типа ВС-22, установленные на обоих выходах монохроматора типа МДР-23 с репликами в 1200 или 600 штрихов/мм соответственно. Нагрузкой для фотоумножителей служил измерительный прибор типа ЩЗ01-1. Для обеспечения работы фотометрической части установки на линейном участке световой характеристики большие сигналы при необходимости ослаблялись нейтральными сетчатыми светофильтрами. Градуировка фотометрической части установки проводилась методом замещения по эталонной лампе накаливания типа СИ200-8.

Определялись спектры излучения экспериментальных ламп в области ФАР и в расширенном спектральном интервале 300—1100 нм, а также сила излучения этих ламп в нормальном к оси направлении $I_0(\lambda)$ в ряде характерных линий металлов ИД. Кроме того, оценивалась зависимость $I_0(\lambda)$ наиболее сильных из этих линий от P_d при изменении последней на ± 100 Вт ($\pm 11,8\%$) от основного значения равного 850 Вт. Погрешность спектрофотометрических измерений составляла около $\pm 13\%$.

На основе измерений рассчитывались [2] энергетические КПД излучения в линиях металлов ИД $\eta(\lambda)$ и в ряде участков спектра излучения ламп, в том числе $\eta_{\text{Ф}}(\lambda)$ и K_c , K_z , K_k . Погрешность этих спектроэнергетических оценок не превышала $\pm 18\%$.

Измерения электрических параметров ламп осуществлялись с помощью комплексного измерительного прибора типа К-505. Погрешность измерений $\pm 5\%$.

Из рис. 1—5 следует:

— спектры излучения ламп в области ФАР имеют четкий линейчатый характер, с характерными линиями металлов, соответствующими ИД, и практически незаметными линиями Xe . Линии различны по ширине: наиболее широкие — In 451,1 и In 410,2 нм, Ga 417,2 и Ga 403,3 нм, Tl 535,0 нм и сравнительно узкие — Na 589,0/9,6 нм, Li 670,8 и Li 610,4 нм. К сожалению, ряд технологических причин, прежде всего свойства партии кварцевого стекла, использованной для горелок, обусловили загрязнение спектров линиями Na и Li,

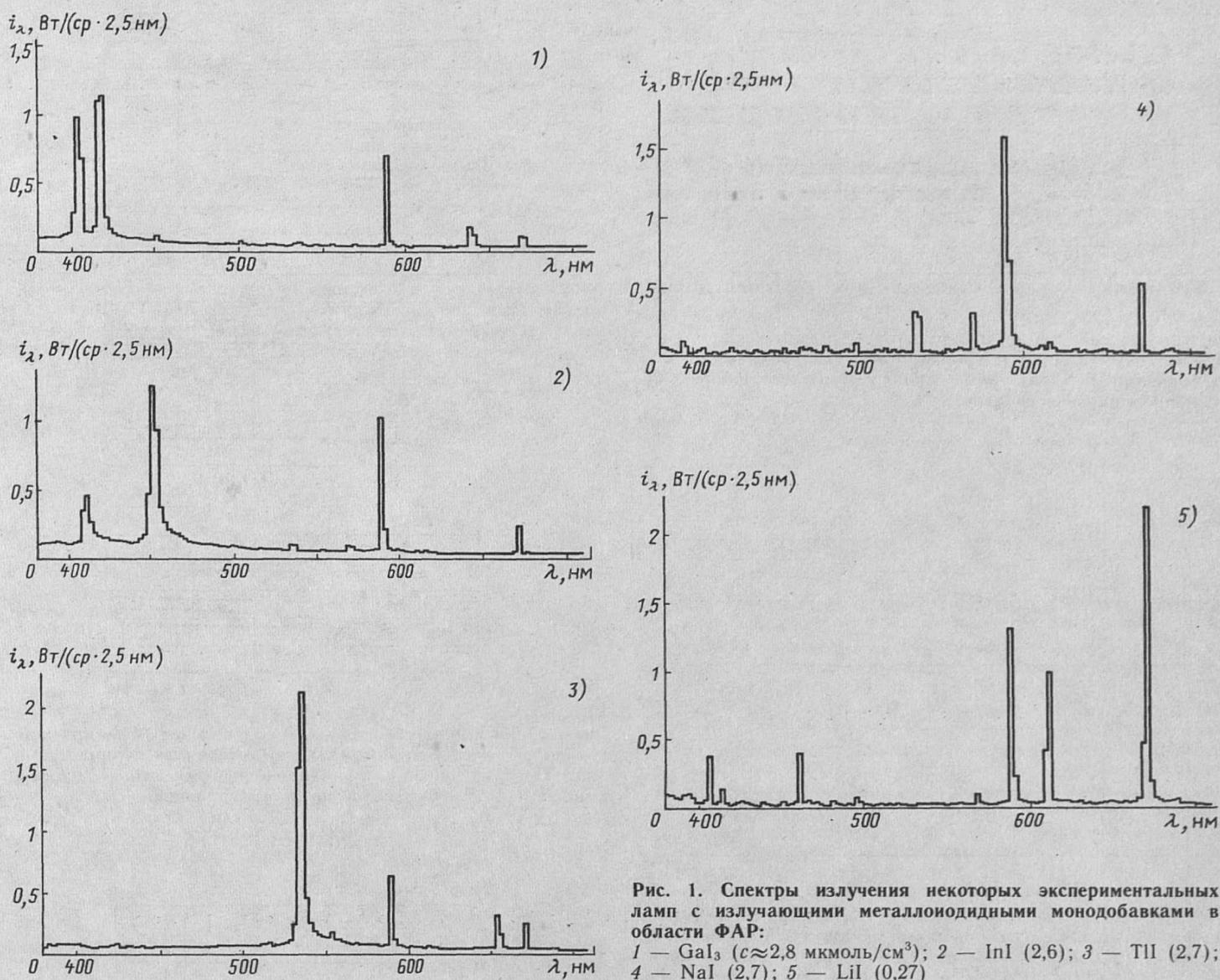


Рис. 1. Спектры излучения некоторых экспериментальных ламп с излучающими металлоидидными монодобавками в области ФАР:
1 — GaI_3 ($c \approx 2,8 \text{ мкмоль/см}^3$); 2 — InI (2,6); 3 — TII (2,7);
4 — NaI (2,7); 5 — LiI (0,27)

что, однако, имело и свою положительную сторону — возможность учета технологических «реалий», достаточно характерных как для отечественного, так и для зарубежного производств МГЛ;

— зависимости $\eta(\lambda)$ от удельной молярной дозировки c ИД в резонансных линиях металлов ИД, особенно для LiI , а также в нерезонансных линиях Li 610,4 и Li 460,3 нм, имеют максимумы, тогда как для нерезонансных линий металлов ИД GaI_3 (417,2 нм), InI (451,1 нм) и TII (535,0 нм) и резонансных линий Na в NaI (589,0/9,6 нм) подобные максимумы в широком интервале значений c практически отсутствуют;

— с предыдущими зависимостями хорошо коррелируют соответствующие зависимости $\eta_{\Phi}(\lambda)$ и K_c , K_z , K_k от c ;

— то же может быть сказано и о зависимостях напряжения на лампах U_d от c . При этом для ламп со щелочно-металлическими ИД характерны сравнительно низкие значения U_d .

В таблице выборочно приведены сравнительные оценки энергетических КПД излучения экспериментальных ламп в некоторых спектральных зонах, примыкающих к области ФАР. При этом обращает на себя внимание эффект многократного снижения доли ближнего ИК излучения (760–1100 нм) всех экспериментальных ламп по сравнению с чисто Хе аналогом этих же ламп [6], особенно выраженный в случае ИД с нещелочными металлами, а также относительно высокая доля ближнего УФ излучения ламп с ИД ТII.

Ряд аналогичных экспериментов для ламп с $P_{\text{Хе}} = 13,3 \text{ кПа}$ показал снижение $\eta(\lambda)$ в большинстве линий металлов ИД, $\eta_{\Phi}(\lambda)$ и U_d по сравнению с основными, указанными выше вариантами экспериментальных ламп с $P_{\text{Хе}} = 53,3 \text{ кПа}$.

Процентное отношение энергетического КПД излучения некоторых экспериментальных ламп с металлоидидными излучающими монодобавками ($P_{\text{Хе}} = 53,3 \text{ кПа}$) в ряде смежных с областью ФАР спектральных зон к $\eta_{\Phi}(\lambda)$ этих же ламп

Спектральная зона, нм	Излучающая монодобавка				
	при удельной дозировке, мкмоль/см ³				
	4,6	4,7	2,7	2,7	1,0
300–340	1,4	1,1	2,5	2,1	1,6
340–380	12,0	6,4	23,8	12,6	6,6
710–760	5,1	4,9	4,0	5,0	6,9
760–1100	29	30	24	108	125

Варьирование P_d в пределах $\pm 11,8 \%$ от 850 Вт показало слабую зависимость $\eta(\lambda)$ в наиболее сильных линиях металлов всех ИД, не выходящую за пределы погрешности оценок этого параметра, и соответствующую достаточно слабую (в пределах $\pm 6 \%$) зависимость U_d от P_d (участки малой крутизны положительных ветвей вольт-амперной характеристики ламп).

Ускоренные ресурсные испытания ряда макетов КсМГЛ мощностью 1000 Вт, в частности со смесью ИД InI , TII и NaI , содержащих горелку, аналогичную горелкам вышеуказанных экспериментальных ламп, и стеклянный цилиндрический баллон, выполненных в софитном исполнении, продемонстриро-

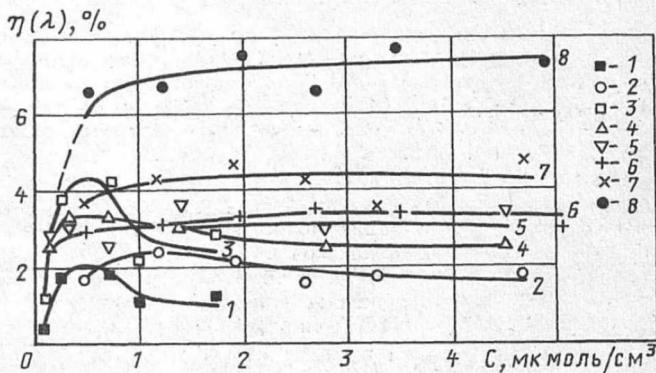


Рис. 2. Зависимость энергетического КПД излучения экспериментальных ламп с излучающими металлоидидными монодобавками в характерных линиях металлов добавок от удельной дозировки добавок:

1 — Li 610,4 нм; 2 — In 410,2; 3 — Li 670,8; 4 — Ga 403,3; 5 — Ga 407,2; 6 — Na 589,0/9,6 (D =линия Na); 7 — In 451,1; 8 — Tl 535,0 нм

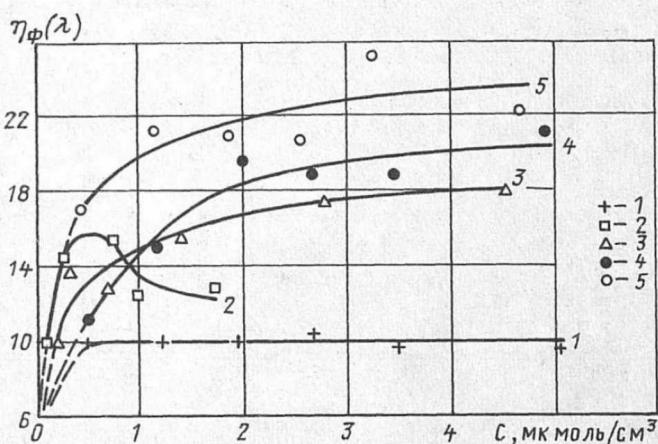


Рис. 3. Зависимость энергетического КПД излучения экспериментальных ламп с излучающими металлоидидными монодобавками в области ФАР от удельной дозировки добавок: 1 — NaI; 2 — LiI; 3 — GaI₃; 4 — TlI; 5 — InI

вали достижимость приемлемого срока службы растениеводческих КсМГЛ — не менее 1500 ч при спаде потока излучения в области ФАР до уровня 80–84 % начального.

Качественная интерпретация полученных результатов во многом согласуется с рядом термических моделей разрядов ВИ с ИД с учетом известности основных характеристик разряда ВИ в чистом Xe, основных свойств использованных в работе ИД и приведенных выше температурных данных горелок экспериментальных ламп. При этом отметим следующее:

— наличие максимумов зависимостей $\eta(\lambda)$ в резонансных линиях металлов ИД от c может быть объяснено одновременным с ростом с повышением концентрации металлов ИД в разрядах, снижением эффективной температуры разряда и ростом самопоглощения. Отсутствие подобного максимума для желтых линий Na (в Xe—NaI лампах) связано с относительно низкими, в условиях экспериментов, рабочими давлениями NaI. Самопоглощение для нерезонансных линий металлов ИД ниже, чем для резонансных, и поэтому зависимости $\eta(\lambda)$ от c для них оказались монотонными. Исключение для нерезонансных линий Li связано с наибольшим для всех экспериментальных ламп эффективным объемом самопоглощения Xe—LiI ламп;

— что касается данных, относящихся к U_L (среднему градиенту электрического потенциала столба разряда), существенно важные моменты для практики — в первую очередь возможность весьма значительного повышения U_L Xe

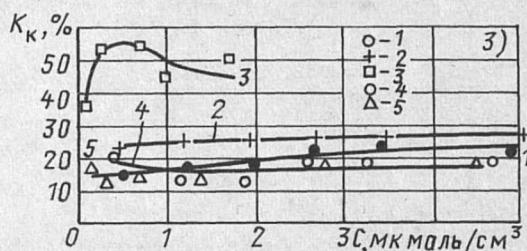
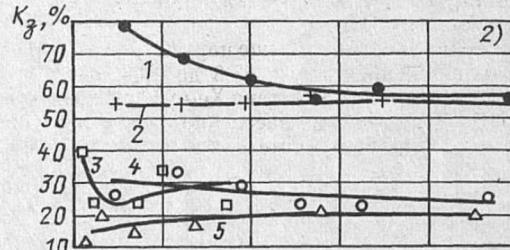
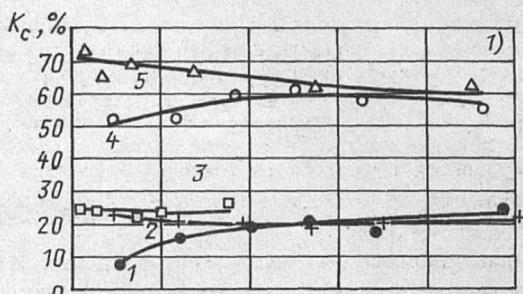


Рис. 4. Зависимость условно синей (а), зеленой (б) и красной (в) долей энергетического КПД излучения экспериментальных ламп с излучающими металлоидидными монодобавками в области ФАР от удельной дозировки добавок:

1 — TlI; 2 — NaI; 3 — LiI; 4 — InI; 5 — GaI₃

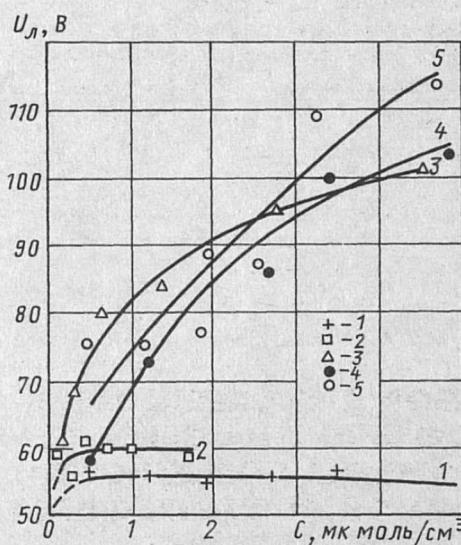


Рис. 5. Зависимость напряжения на экспериментальных лампах с излучающими металлоидидными монодобавками от удельной дозировки монодобавок:

1 — NaI; 2 — LiI; 3 — GaI₃; 4 — TlI; 5 — InI

ламп ВИ за счет таких МГ ИД, как GaI₃, TlI и особенно InI (вероятно, впервые указанная в [7]) и, во вторую — тот факт, что для максимальной реализации этой возможности целесообразны намного большие, чем для ртутных МГЛ, значения с данных ИД — свыше 3–4 $\mu\text{mol}/\text{cm}^3$. При этом использование больших c , к счастью, не оказывается отрицательно на спектроэнергетических характеристиках соответствующих КсМГЛ (см. рис. 2 и 3), но, несомненно, повы-

шает требования к чистоте ИД. При этом можно отметить, что рост U_l с ростом c в области $c > 3 \div 4$ мкмоль/см³, по-видимому, свидетельствует об эффективно протекающем конвективном испарении со стенки горелок трех указанных ИД в области больших c , дополняющем обычное термическое, проявляющееся при меньших c . При этом с ростом c электропроводность разряда падает за счет усиления рассеяния электронов на атомах и ионах металла ИД (в данном случае Ga, Tl или In), имеющих значительно большие, чем у Xe в условиях экспериментов, эффективные сечения упругого соударения с электронами. Сравнительно низкие упругости паров LiT и особенно NaI в сочетании с относительно низкими потенциалами ионизации Li и Na — основная причина слабого повышения U_l за счет этих ИД;

— снижение указанных выше параметров экспериментальных ламп со снижением P_{Xe} с 53,3 до 13,3 кПа — результат уменьшения уширяющего действия Xe-буферного газа на линии металлов ИД [8], снижения заселенности верхних термов для соответствующих линий этих металлов (из-за чрезмерного повышения эффективной температуры столба разряда, увеличивающего к тому же степень ионизации плазмы), а также ослабления упругого рассеяния электронов более разреженным Xe-буферным газом;

— по-видимому, впервые обнаруженный эффект резкого подавления ближнего ИК излучения ($760 \div 1100$ нм) Xe ламп ВИ с помощью МГ ИД (имеющий принципиально положительное значение [3] для жизнеспособности идеи «растениеводческой КсМГЛ») объясняется охлаждающим действием ИД на Xe-буферный газ, снижающим заселенность верхних термов для целого ряда нерезонансных линий Xe в данном участке спектра. При этом относительно высокие КПД излучения в области $760 \div 1100$ нм у Xe—NaI и особенно Xe—LiI лампы связаны с наличием ряда достаточно сильных линий Na и Li и относительно слабым охлаждением Xe-буферного газа этими ИД ввиду их существенно меньшего, чем у остальных ИД, рабочего давления.

Сопоставление данных, приведенных на рис. 4, с требованиями к растениеводческим лампам по K_c , K_3 , K_k [3] позволяет оптимистически расценивать возможность реализации «универсальных» растениеводческих КсМГЛ ($K_c \approx K_3 \approx K_k \approx 33\%$), менее уверенно рассчитывать на успешный «синтез» КсМГЛ для культуры огурца ($K_c:K_3:K_k \approx 20:40:40$), так как уже проблематично получение K_k около 40 %, и заставляет идти за пределы очерченных здесь возможностей при создании, например, КсМГЛ для выращивания томатов (15:15:70), т. е. с $K_k \approx 70\%$.

Наконец, отметим, что наличие слабой зависимости U_l от P_d не позволяет серьезно рассчитывать на возможность безбалластного включения КсМГЛ, по крайней мере с рассмотренными МГ ИД и при значениях P_{Xe} , P_d и диаметре горелки, использованных в данной работе, что, в частности, резко ограничивает справедливость противоположного, носящего общий характер, заключения [7].

Таковы некоторые начальные итоги экспериментальных работ ВНИСИ и СПО «Лисма» по созданию количественной информационной базы, необходимой для получения рациональных решений безрутных МГЛ, в том числе с многокомпонентными составами наполнения, конкретно относящиеся к проблематике ксеноновых МГЛ для растениеводства защищенного грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашурков С. Г. Эволюция безрутных разрядных ламп высокой интенсивности с излучающими добавками // Светотехника. 1992. № 9. С. 11—13.
2. Сарычев Г. С. Облучательные светотехнические установки. М.: Энергоатомиздат, 1992. 240 с.
3. Спектральный состав света и продуктивность растений / А. А. Тихомиров, Г. М. Лисовский, Ф. Я. Сидько. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1991. 168 с.
4. Минаев И. Ф. Исследование возможности исключения ртути в составе наполнения МГЛ / Тез. докл. 2-го Всес. совещ. по вопр. материаловед. для ист. света и светотехнич. изд. Саранск: 1990. с. 44.
5. А. с. № 385349 СССР / Ю. А. Буханов, Л. Б. Прикупец, Г. С. Сарычев // 1973. Б. И. № 2.
6. Дойников А. С. Спектральные характеристики излучения трубчатых ксеноновых импульсных и дуговых ламп / Обзоры по электронной технике. Сер. «Электровакуумные и газоразрядные приборы». М.: изд. ЦНИИ «Электроника». 1973. Вып. 11(154). 29 с.
7. Патент № 1502612 (Великобритания).
8. Гаврилкина Г. Н., Сарычев Г. С. О роли ртутного буферного газа в ртутно-таллиевом разряде // Светотехника. 1969. № 12. С. 13—15; Сарычев Г. С. О создании разрядных ламп на основе экологически чистого буферного накопления // Светотехника. 1992. № 4. С. 2—3.

УДК 535.24

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗЕРКАЛЬНОГО ОТРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ВИДИМОЙ И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИХ СПЕКТРА

А. И. РЫМОВ, канд. техн. наук

Всероссийский научно-исследовательский светотехнический институт им. С. И. Вавилова

Отражающие зеркальные поверхности, входящие в состав многих оптических приборов и облучательных устройств, предназначенных для радиационного воздействия на материалы и фотоприемники, должны иметь высокий коэффициент зеркального отражения (КЗО) не только в видимой, но и в УФ и ближней ИК областях спектра, причем УФ область (0,25—0,3 мкм) особенно важна, как область повышенного деструктивного воздействия радиации на материалы. Область ближнего ИК излучения существенна с точки зрения теплового воздействия на материалы и фотоэлектрического — на фото-

приемники (например кремниевые фотопреобразователи и т. д.).

Созданные в настоящее время приборы в основном предназначены для измерений КЗО в видимой области (ВО) спектра. Результаты измерений этими приборами дают информацию также и о коэффициенте отражения в ближней ИК области, поскольку в ВО и ближней ИК областях спектра большинство зеркальных покрытий неселективно. Однако такие приборы не решают вопроса о КЗО поверхности в УФ области короче 0,3 мкм, который, как указывалось выше, во многих случаях представляет интерес и должен контролироваться.

Ниже описан накладной прибор, разработанный для контроля КЗО плоских зеркальных поверхностей как в ВО, так и в УФ области спектра короче 0,3 мкм. Особенностью прибора является возможность измерения абсолютного значения КЗО без применения образца сравнения. Принципиальная оптическая схема прибора показана на рис. 1. Источником излучения I в приборе является П-образная ртутно-кварцевая лампа НД типа ДРС-6 мощностью 6 Вт, специально разработанная для описываемого прибора.* Отно-

* А. с. № 1099334 СССР. Монохроматический излучатель / О. А. Кулик, А. П. Меркулова, Д. Д. Юшков // Б. И. 1982.