



ЭКСИЛАМПЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ФОТОНИКИ

Э. Соснин, д.ф.-м.н.,
В. Тарасенко, д.ф.-м.н.,
Институт сильноточной
электроники РАН

Среди большого разнообразия некогерентных источников узкополосного излучения в УФ- и вакуумном ультрафиолетовом (ВУФ) диапазоне спектра эксилампы выделяются удачным сочетанием своих физических параметров и удобством эксплуатации. Эти качества позволяют широко использовать эксилампы для облучения протяженных объектов: будь то кюветы с растворами и газами или помещения для содержания животных, или операционные комнаты.

В 2015 году исполняется 25 лет с момента начала исследований нового класса газоразрядных источников излучения – эксиламп – в лаборатории оптических излучений Института сильноточной электроники СО РАН. За это время было создано 18 образцов эксиламп и фотореакторов, а также продемонстрирована их широкая применимость в решении различных задач (фотохимия, фотомедицина, газовая промышленность и т.д.).

Слово "эксилампа" обобщающее названием класса устройств, излучающих спонтанное ультрафиолетовое (УФ) и/или вакуумное ультрафиолетовое (ВУФ) излучение эксимерных и эксиплексных молекул. Сегодня имеется большое разнообразие таких источников света (ИС): их классифицируют как по рабочим молекулам (табл.1), так по способу возбуждения газовой среды и конструктивному исполнению [1, 2].

Было установлено, что наибольших величин ресурса можно достичь при возбуждении безэлектродным емкостным и барьерным разрядами, это и сделало такие эксилампы коммерчески привлекательными. Например, на основе ксеноновых барьерных эксиламп разрабатывается целый ряд ВУФ ИС, а также безртутных линейных и плоских люминесцентных ламп. Перечислим вкратце ряд преимуществ эксиламп с точки зрения их применимости:

EXCIMER LAMP AS A PERSPECTIVE PHOTONIC INSTRUMENT

E.Sosnin, Dr. Phys. – Math.Sci.,
V.Tarasenko, Dr. Phys. – Math.Sci.,
Institute of High Current Electronics of the Russian
Academy of Sciences

Among the large variety of incoherent sources of narrow-band radiation in the UV and vacuum ultraviolet (VUV) spectral range, excimer lamps stand apart due to a successful combination of the physical parameters and ease of use. These features have made excimer lamps indispensable in solving the problem of intensifying radiation of extended objects, whether they are cells with liquids and gases or premises for animals, or operating rooms.

2015 marks the 25th anniversary since the beginning of studies of a new class of gas-discharge light sources, excimer lamps, in the optical radiation laboratory of the Institute of High Current Electronics SB RAS. During this time, it has been created 18 samples of excimer lamps and photoreactors and demonstrated their wide applicability in solving various problems (photochemistry, photomedicine, gas industry etc.).

The term "excimer lamp" is a generic name of a class of devices emitting spontaneous ultraviolet (UV) and/or vacuum ultraviolet (VUV) radiation of excimer and exciplex molecules. Today there is a large variety of these light sources (LSs): they are classified according to both their working molecules (Table 1) and gaseous medium excitation techniques and design [1, 2].

It was found that the largest resource values could be achieved when excited by electrodeless capacitive and barrier discharges, and this has made such excimer lamps commercially attractive. For example, the whole range of VUV LSs has been developed based on xenon barrier excimer lamps, as well as mercury-free linear and planar fluorescent lamps. We will briefly list a number of the excimer lamp advantages in terms of their applicability:

1. Unlike fluorescent and thermal UV and VUV LSs, the radiation flux of excimer lamps is mostly focused in the UV or VUV ranges, in a relatively narrow spectral region with a half-width of 2 to 15 nm for exciplex molecules RgX^* (Fig. 1) and

1. В отличие от люминесцентных и тепловых УФ и ВУФ ИС большая часть лучистого потока эксилламп сосредоточена в УФ или ВУФ диапазоне, в сравнительно узкой спектральной зоне полушириной от 2 до 15 нм для эксиплексных молекул RgX^* (рис. 1) и до 30 нм для эксимеров инертных газов X_2^* [1-3]. Это обеспечивает селективность проведения разнообразных фотохимических реакций и, соответственно, широкую применимость ИС в задачах, где нужна узкополосность и не нужны направленность и когерентность излучения [4].
2. Удельный лучистый поток ($Вт/см^3$) эксилламп превышает величины, характерные для ртутных ламп низкого давления на резонансных переходах атомов. Энергетическая светимость (до $100 мВт/см^2$) и, в отличие от эксиплексных и эксимерных лазеров, отсутствие самопоглощения на рабочих длинах волн большинства эксилламп.
3. Разнообразие в конструктивном исполнении, о чем мы отдельно расскажем далее.
4. Легкость включения с быстрым выходом на максимум мощности после зажигания (менее 1 с), что чаще всего не требует оснащения ИС пускорегулирующей аппаратурой. Так, питание эксилламп барьерного разряда (БР) осуществляется импульсами напряжения с амплитудой до нескольких киловольт и частотой до нескольких сотен килогерц, поэтому эти устройства не нуждаются в специальных стартерах. Это же определяет сравнительную электробезопасность эксилламп БР, поскольку разряд в колбе ограничен диэлектрическим барьером, и ток разряда ограничивается десятками миллиампер.
5. Разогрев колб до умеренных температур. За это в зарубежной литературе эксилламп называют cold emission sources. Это свойство полезно при облучении объектов, чувствительных к термическому воздействию.
6. Полезный срок службы в лучших образцах эксилламп (t_r^k период времени, когда происходит снижение потока излучения эксилламп на k процентов) $t_r^{15-20} > 10\,000$ ч для хлорсодержащих эксилламп и $t_r^5 > 10\,000$ ч – для заполненных инертным газом. Часто этот параметр является решающим при использовании ИС в тех или иных приложениях.
7. Эффективность (отношение полезной излучаемой лампой мощности к подводимой к ней

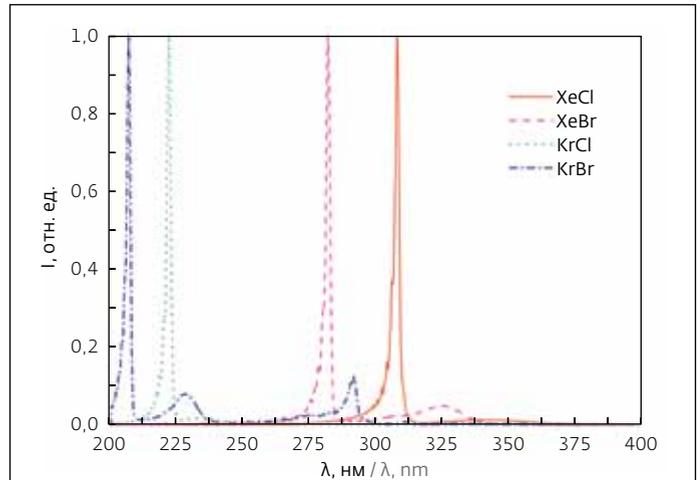


Рис.1. Спектры излучения эксилламп барьерного разряда на основе галогенидов инертных газов [5]

Fig. 1. Spectral wavelength of barrier discharge rare-gas-halogen excimer lamps [5]

to 30 nm for inert-gas excimers X_2^* [1-3]. This ensures the selectivity of various photochemical reactions and, accordingly, wide application of LSs in problems where narrowband is required and there is no need in radiation directivity and coherence [4].

2. Specific radiant flux (W/cm^3) of excimer lamps exceeds the values typical for the low-pressure mercury lamps at the resonant transitions of atoms. Radiant emittance (up to $100 мВт/см^2$) and, unlike exciplex and excimer lasers, lack of self-absorption at the working wavelengths in the majority of excimer lamps.
3. Diversity in the design concept is described separately below.
4. Easy switching with a quick achievement of maximum power after switching (less than 1 s), that mostly does not require equipping LSs with control gears. Thus, the power supply of barrier discharge (BD) excimer lamps is performed by voltage pulses with amplitude of up to several hundred kilovolts and a frequency of up to several hundred kHz that is why these devices do not need special starters. This also determines the relative electrical safety of BR excimer lamps, as the bulb discharge is limited by a dielectric barrier, and the discharge current is limited to tens of milliamps.
5. The bulbs are heated to moderate temperatures. Due to this, in foreign literature excimer lamps are called "cold emission sources". This feature is useful for irradiation of objects sensitive to thermal stress.

мощности) от 7 до 40% (в зависимости от сорта рабочей молекулы) [1, 2].

8. Наконец важным на сегодня свойством эксиламп является отсутствие ртути в колбе (исключая эксилампы на галогенидах ртути HgX^* , которые не получили распространения). Как справедливо отмечено в [6], при разбивании ртутной лампы, содержащей 80 мг металла, при условии его полного испарения, происходит загрязнение воздуха до уровня ПДК в помещении 300 000 м³. Поэтому в странах ЕС была принята директива 2011/65/EU о постепенном выводе из хозяйственного оборота ИС, содержащих ртуть, и/или сокращении использования ртути при производстве ИС. По ряду позиций, например, по сравнению ртутными лампами низкого давления, эксилампы сегодня уже имеют лучшие параметры (см. п.2), но не содержат ртути, что обеспечивает им перспективу для введения в разного рода бактерицидные установки [7].

За последнее время стало заметно, что ежегодно в мире появляются новые фирмы и исследовательские группы, занятые исследованием и выпуском эксиламп или использующие их в качестве компонентов для различного оборудования [8].

В лаборатории оптических излучений Института сильноточной электроники СО РАН исследования эксиламп начались 25 лет назад. В 1990–1997 годы проведены первые исследования условий формирования излучения эксимерных и эксиплексных молекул. Дальнейшее



Рис.2. Эксцилампа серии BD_P в работе
Fig. 2. BD_P Series excimer lamp when in use

- The useful service life in the best samples of excimer lamps (t_r^k period of time when the radiant flux of excimer lamps decreases by k percent) is $t_r^{15-20} > 10,000$ hours for chlorine excimer lamps and $t_r^5 > 10,000$ hours for the inert-gas excimer lamps. This parameter is often crucial for the use of LSs in various applications.
- Efficiency (ratio of useful power radiated by the lamp to the power supplied thereto) is 7 to 40% (depending on the working molecule) [1, 2].
- Finally, an important feature of excimer lamps is currently absence of mercury in the bulb (excluding halide mercury excimer lamps HgX^* , which have not gained ground). As rightly pointed out in [6], when broken a mercury lamp containing 80 mg of metal and provided its complete evaporation, it causes indoor air pollution to MPC level of 300,000 m³. Therefore,

Таблица 1. Максимумы полос излучения эксимерных (X_2^* , Rg_2^*) и эксиплексных (RgX^*) молекул, полученные в инертных газах, галогенах и смесях $Rg-X_2$ [1, 2]

Table 1. The maxima of the emission bands of excimer (X_2^* , Rg_2^*) and exciplex (RgX^*) molecules obtained in inert gases, halogens and mixtures $Rg-X_2$ [1, 2]

Инертный газ / Inert gas (Rg)		He	Ne	Ar	Kr	Xe
	λ	74 нм	83 нм	126 нм	146 нм	172 нм
Галоген Halogen (X_2)	F	157 нм	–	108 нм	193 нм	354 нм
	Cl	259 нм	–	–	175 нм	222 нм
	Br	289 нм	–	–	165 нм	207 нм
	I	342 нм	–	–	–	190 нм

* Жирным и наклонным шрифтами выделены коммерчески значимые и обладающие коммерческим потенциалом молекулы, соответственно.

* The bold and italics fonts mark commercially important and having commercial potential molecules, respectively.

развитие этой темы было стимулировано появлением мощных, серийных и недорогих полевых и биполярных транзисторов для электрических схем возбуждения БР, получения доступа к качественному кварцевому стеклу отечественного производства [9] и выявления режимов работы эксиламп, обеспечивающих их высокие сроки службы.

Созданные эксилампы оказались сравнительно недорогими (цена эксилампы по крайней мере на порядок меньше цены УФ- или ВУФ-лазера), показали свою применимость практически во всех известных фотопроцессах, в которых необходимо УФ- и/или ВУФ-излучение. Таким образом, во многих случаях, когда необходимо облучать узкополосным излучением протяженные объекты [10], соответствовать современному экологическому стандарту, а когерентность излучения не важна, эксилампы выступают как альтернатива лазерному излучению. В сравнении со УФ светодиодами (в диапазоне длин волн 200–300 нм) по стоимости одного ватта излучения и срокам службы эксилампы на сегодня тоже вне конкуренции.

Дадис примеры моделей ИС на основе эксиламп, разработанных в институте, получивших коммерческое и полукommerческое значение. Под "полукommerческими" мы понимаем модели, выпущенные малыми партиями и нашедшие своего потребителя на рынке.

Серия BD_P (barrier discharge, portable) - портативные коаксиальные облучатели с эксилампой, помещенной в кожух, снабженной воздушным охлаждением и отражателем (рис.2, табл. 2).

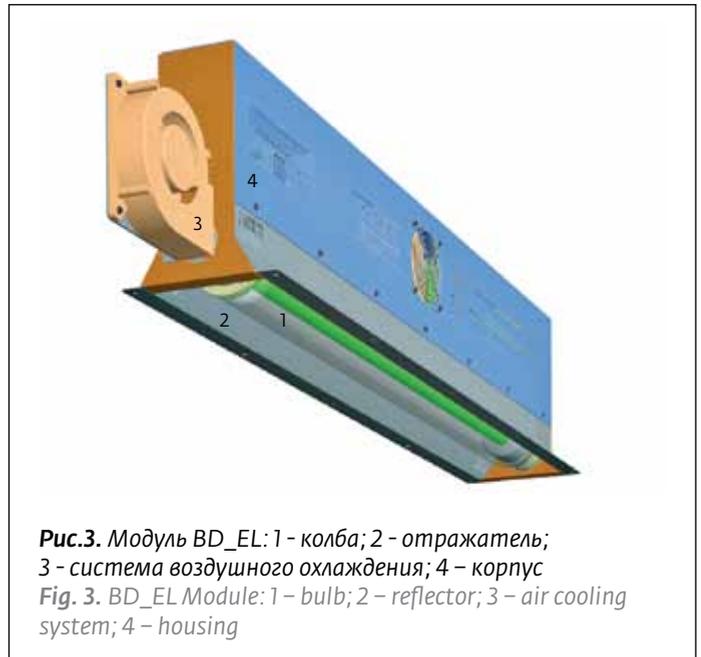


Рис.3. Модуль BD_EL: 1 - колба; 2 - отражатель; 3 - система воздушного охлаждения; 4 - корпус
Fig. 3. BD_EL Module: 1 - bulb; 2 - reflector; 3 - air cooling system; 4 - housing

the EU- counties have adopted Directive 2011/65/EU on the withdrawal of mercury-containing LSs from the economic turnover and/or restriction of the use of mercury for manufacturing LSs. As compared with, for example, low pressure mercury lamps, excimer lamps currently have better parameters (see. P. 2), but do not contain mercury that provides them with the prospect for the introduction to various kinds of bactericidal facilities [7].

It has recently become apparent that new companies and research groups engaged in research and production of excimer lamps, or using them as

Таблица 2. Параметры излучателей серии BD_P

Table 2. Parameters of BD_P emitters

Рабочая молекула Working molecule	λ (max), нм/nm	Габариты окна, мм Window dimensions, mm	Потребляемая мощность, Вт Power consumption, W	Плотность мощности излучения, мВт/см ² Power of density, mW/cm ²
XeCl	308	60×90	40	18
KrBr	206	60×90	40	9
KrCl	222	60×100	30	10
XeBr	282	60×90	35	20
Br ₂ *	291,6	60×100	35	4
I ₂ *	342	60×100	35	1,5
Cl ₂ *	257,8	60×100	35	2
Xe ₂ *	172	60×100	35	30

Такие ИС имеют сравнительно небольшие размеры – 240×80×80 мм, массу 700 г, удобны для научных исследований и пользуются популярностью в России и за рубежом.

Для обеспечения большей площади облучения было разработано несколько моделей ИС. Так в серии **BD_2P** в корпус вместо одинарной колбы устанавливается пара колб. Этот ИС изначально был разработан для применения в дерматологии, поэтому здесь используется излучение молекул XeCl^* и таймер для установки времени фотолечения. Такой источник при габаритах 125×130×270 мм и размерах окна 120×120 мм обеспечивает энергетическую освещенность до 34 мВт/см² при потреблении до 80 Вт.

Серия BD_EL (barrier discharge, extra large) □ ИС с длинной коаксиальной эксилампой, помещенной в кожух, снабженной воздушным охлаждением и отражателем (рис.3). На базе этой модели выпускаются эксилампы на рабочих молекулах KrCl^* , XeCl^* и XeBr^* . Излучение выводится через фланец, имеющий размеры 85×10 см.

Одним из параметров, влияющих на эффективность и ресурс эксилампы, является ее температурный режим. Повышение температуры колбы лампы приводит к снижению как эффективности, так и ресурса. Это вызывает необходимость принудительного охлаждения колбы. В случае вышеописанных моделей при указанных уровнях энергетической светимости достаточно использовать сравнительно простое воздушное охлаждение. Заметим, что в практике других производителей обычно используется водяное охлаждение. В этом случае удается довести удельный лучистый поток KrCl^* и XeCl^* эксиламп барьерного разряда до 0,1 Вт/см³. Нами показано, что в случае мощной Xe_2 -эксилампы достаточно использовать воздушное охлаждение, что было реализовано в модели **BD-Cs** (barrier discharge, cascade), представляющий собой протяженный ИС, содержащий коаксиальные эксилампы, снабженные воздушным охлаждением и общим отражателем, собранные в каскад с выходным окном 20×20 см (рис. 4). Данный источник света обеспечивал лучистый поток излучения 50 Вт и энергетическую светимость на полосе димера ксенона (172 нм) до 120 мВт/см².

Институт также занимается разработкой различных фотореакторов для воздействия на растворы и газы. Для лабораторных целей, при облучении сравнительно небольших объемов жидкости, достаточно использовать модель

Таблица 3. Параметры излучателей серии BD_R

Table 3. Parameters of BD_R emitters

Рабочая молекула Working molecule	XeCl^* , KrBr^* , KrCl^* , XeBr^*
λ (max) соответственно молекулам, нм λ (max) respectively to molecules, nm	308, 207, 222, 283
Габариты фотореактора, мм Photoreactor dimensions, mm	250 × 100 × 420
Габариты сменной трубки, мм Replacement tube dimensions, mm	∅14 × 480
Потребляемая мощность, Вт Power consumption, W	≤150
Длина облучаемой зоны, мм Irradiated region length, mm	300
Масса, кг Weight, kg	4,6

components for various equipment appear worldwide every year.

In the optical radiation laboratory of the Institute of High Current Electronics SB RAS, the excimer lamps investigations began 25 years ago. The first studies of the conditions of excimer and exciplex molecule formation was conducted in 1990-1997. Further development of this topic was stimulated by the appearance of powerful, serial, and low-cost field and bipolar transistors for BD electric drive circuits, getting access to high-quality quartz glass of domestic production [9] and finding modes which ensure long service life of excimer lamps.

Created excimer lamps have turned out to be relatively inexpensive (the price of excimer lamps

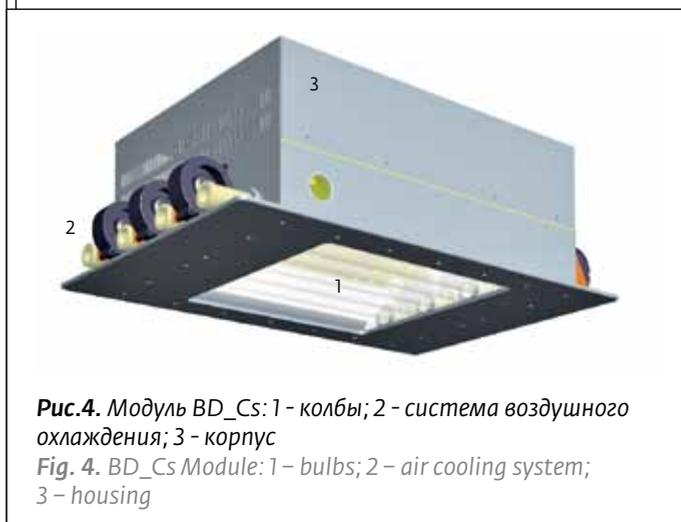


Рис.4. Модуль BD-Cs: 1 - колбы; 2 - система воздушного охлаждения; 3 - корпус

Fig. 4. BD-Cs Module: 1 - bulbs; 2 - air cooling system; 3 - housing



Рис.5. Фотореактор BD_R: 1 – корпус; 2 – кварцевая трубка для подачи раствора или газа
Fig. 5. BD_R Photoreactor: 1 – housing; 2 – quartz tube for feeding a solution or gas

BD_P [9]. Для интенсификации облучения растворов и газов применяется схема проточного фотореактора, в котором облучаемая среда пропускается через кварцевую трубку, размещенную во внутренней полости эксилампы. По этому принципу работает **модель серии BD_R** (barrier discharge, reactor). Общий вид и параметры модели отражены на рис. 5 и в табл. 3.

В институте также накоплен уникальный опыт разработки фотореакторов для

at least substantially lower than the price of UV or VUV laser), have shown their applicability in almost all known photo processes required UV and/or VUV radiation. Thus, in many cases when it is required to subject extended objects to the narrow-band radiation, to meet contemporary environmental standards while radiation coherence does not matter, excimer lamps serve as an alternative to laser radiation. In comparison with UV LEDs (in the wavelength range of 200–300 nm), in relation to the cost of one watt of radiation and lifetime, excimer lamps are also currently beyond competition.

Here are some examples of LSs models based on excimer lamps developed at the Institute of High Current Electronics SB RAS, which received commercial and semi-commercial value. By "semi-commercial", we mean models manufactured by small enterprises and found their consumers in the market.

BD_P Series (barrier discharge, portable) is portable coaxial radiators with excimer lamps placed in the casing equipped with an air-cooling system and a reflector (Fig. 2, Table 2). These LSs have a relatively small size of 240×80×80 mm, weight 700 g, are suitable for scientific studies and popular in Russia and abroad.

облучения плотных газов (до 40 атм) на основе Хе₂-эксилламп [11].

Описание этих и других моделей эксилламп можно найти по адресу www.hcei.tsc.ru в разделе "технологии" [12]. Благодаря их использованию удалось провести широкомасштабные исследования по воздействию излучения эксилламп на различные системы (табл. 4), в частности, на различные водные растворы токсичных соединений для их удаления [4, 9]; на микроорганизмы, для их инактивации [7, 12]; на природный газ, для его очистки от примесей воды перед закачкой в газопровод [11]; для пробоподготовки в аналитической химии [13]; на кожу человека, для фотолечения псориаза, витилиго, атопического дерматита и экземы [13, 14] и др.

Вот примеры результатов, полученных в последнее время. В 2012–2013 годы в сотрудничестве с Томским сельскохозяйственным институтом и ЗАО "Сибирская Аграрная Группа" был исследован вопрос о физиологическом действии излучения ХеСl-эксилламп на животных [15]. Актуальность исследования связана с тем, что животные в современных крупных животноводческих комплексах весь жизненный цикл проводят в закрытых помещениях. С одной стороны, это препятствует распространению эпидемических заболеваний, а с другой – лишает животных доступа к солнечному свету, в том числе к коротковолновой части солнечного УФ-излучения (примерно 290–320 нм), что в естественных условиях стимулирует физиологическую активность животных. Физиологическое действие излучения было изучено на беспородных белых мышах и свиноматках. В результате не выявлено токсического и эмбриотоксического, кожно-дезорптивного и аллергического действия излучения, но показано увеличение живой массы на 2,6–3,1%. Кроме того, небольшие дозы облучения свиноматок позволяют уменьшить смертность среди новорожденных поросят более чем в два раза. Найденные факты позволяют надеяться на последующее широкое применение ХеСl-эксилламп для обеспечения технологических процессов содержания животных.

В 2002 году сотрудники института в ходе исследований по облучению живых клеток излучением эксилламп обнаружили пороговый эффект воздействия: зависимость количества выживших клеток яичника китайского хомяка от введенной дозы ультрафиолетового излучения ХеBr-эксилламп носит пороговый

Таблица 4. Области применения эксилламп

Table 4. Application of excimer lamps

Область применения Application fields	Примеры применения Examples
Микро- и оптоэлектроника Micro- and optoelectronics	Фототравление поверхностей Фотоосаждение пленок Изменение физических и химических свойств поверхностей пленок Photo-etching of surfaces Photodeposition of coatings; Change in physical and chemical properties of surfaces, films
Фотохимия: управление фотохимическими реакциями Photochemistry: photochemical reactions control	Изучение ВУФ-фотостабильных веществ Технологии очистки вод Фотосинтетические реакции Актинометрия Study of VUV photo stable substances Water disinfection technology Photosynthetic reaction Actinometry
Аналитическая химия Analytical chemistry	Фотоочистка электродов Разложение аналитических проб Приборы для спектрального анализа Photo cleaning electrodes Instruments for spectral analysis Decomposition of analytical samples
Фотобиология Photobiology	Фоторегуляция жизнедеятельности микроорганизмов, вирусов, живых клеток, растений, животных Photoregulation microorganisms, viruses, live cells, plants, animals
Фотомедицина Photomedicine	Лечение кожных заболеваний Косметические операции Skin diseases management Cosmetic surgery

To ensure a larger area of radiation, several models of LSs were developed. Thus, in **BD_2P Series**, a pair of bulbs is installed into the housing instead of a single bulb. This LS has been originally developed for use in dermatology, so here radiation of molecules ХеСl and a timer to set photo treatment time are applied. Such a source with dimensions of 125×130×270 and a window size of 120120 mm provides a radiant emittance up to 34 mW/cm² at a power consumption of up to 80 W.

BD_EL Series (barrier discharge, extra-large) is LSs with a long coaxial excimer lamps placed in the casing equipped with an air-cooling system and a reflector (Fig. 3). Based on this model, excimer lamps on the working molecules KrСl*, ХеСl* and ХеBr* are produced. The radiation rays escape through a flange with a size of 85×10 cm.



характер, чего нет при инактивации микроорганизмов [16]. Благодаря этому появилась возможность выбора такой дозы облучения эксилампой, при которой происходит инактивация бактерий без нарушения функциональной активности фибробластов живой ткани. Это важно, например, для хирургии, для задачи послеоперационной обработки ран. В частности, была выдвинута гипотеза о снижении риска канцерогенеза в живой ткани под воздействием KrCl- или KrVg-эксиламп. Эта гипотеза подтвердилась в 2013 году, когда сотрудники Медицинского центра Колумбийского университета (США) провели его экспериментальную проверку с помощью эксилампы модели BD_P, а именно, было показано, что, во-первых, узкополосное ультрафиолетовое излучение KrVg-эксилампы эффективно против антибиотикоустойчивых бактерий; во-вторых, излучение почти безвредно для генетического материала клеток человека и, в-третьих, излучение KrVg-эксилампы сравнительно безопаснее излучения стандартной ртутной лампы, традиционно применяемой для дезинфекции, поскольку вызывает на порядки меньше мутаций [17].

One of the parameters that affects the efficiency and service life of excimer lamps is their temperature regime. Increasing of temperature leads to the reduction of both efficiency and service life of the lamp bulbs. This necessitates the forced cooling of the bulb. In case of the above mentioned models and specified irradiance emittance levels, it is enough to use a relatively simple air cooling system. Note that, in practice, other manufacturers usually use a water cooling system. In this case it is possible to increase specific radiant flux of KrCl- and XeCl-excimer barrier discharge lamps up to 0.1 W/cm^3 . We have shown that in case of a powerful Xe₂-excimer lamp, it's enough to use air cooling that has been realized in **BD-Cs model** (barrier discharge, cascade) that is an area LS comprising coaxial excimer lamps equipped with an air cooling system and a common reflector, assembled in a cascade with an output window $20 \times 20 \text{ cm}$ (Fig.4). This light source provides a radiant flux of 50 W and a radiant emittance on the xenon dimmer strip (172 nm) up to 120 mW/cm^2 .

The Institute also develops various photoreactors for irradiation of solutions and gases. For laboratory purposes, when irradiating relatively small volumes of liquids, it is enough to use BD_P model [9]. To



Все сказанное в нашем обзоре позволяет нам предсказывать в будущем широкое применение приборов фотоники – эксиламп.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Gellert B., Kogelschatz U.** Generation of excimer emission in dielectric barrier discharges. – Appl. Phys. B, 1991, v.52, p.14.
2. **Бойченко А.М., Ломаев М.И., Панченко А.Н., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.** Ультрафиолетовые и вакуумно-ультрафиолетовые эксилампы: физика, техника и применения. – Томск: СТТ, 2011.
3. **Ломаев М.В., Скакун В.С., Соснин Э.А. и др.** Эксилампы – эффективные источники спонтанного УФ и ВУФ излучения. – Успехи физических наук, 2003, т.173 (2), с.201.
4. **Sosnin E.A., Oppenländer T., Tarasenko V.F.** Applications of Capacitive and Barrier Discharge Excilamps in Photoscience. – J. Photochem. Photobiol. C: Reviews, 2006, v.7, p.145.
5. **Тарасенко В.Ф., Соснин Э.А.** Эксилампы барьерного разряда: история, принцип действия, перспективы. – Оптический журнал, 2012, т.79 (10), с.58.
6. **Байнева И., Байнев В.** От ламп накаливания к энергоэкономичным источникам света: аспекты перехода. – Фотоника, 2011, №6, с. 30.
7. **Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф., Жданова О.С. и др.** Эксилампы – новый инструмент для проведения фотобиологических исследований. – Биотехносфера, 2012, №3-4, с.52.
8. **Исюмов С.В., Коган О.З., Маркин Н.П. и др.** Разработка облучающих систем на основе эксиламп УФ и ВУФ диапазонов: опыт сотрудничества российских научных и промышленных организаций. – Светотехника, 2010, №2, с. 61.
9. **Matafonova G.G., Christofi N., Batoev V.B. et al.** Degradation of chlorophenols in aqueous media using UV XeBr excilamp in a flow reactor. – Chemosphere, 2008, v.70, p.1124.
10. **Медведев Ю.В., Иванов В.Г., Середа Н.И. и др.** Воздействие мощного ультрафиолетового излучения на поток природного газа в проточном фотореакторе. – Наука и техника в газовой промышленности, 2004, №3, с.83.
11. Институт сильноточной электроники СО РАН [Электронный ресурс] : – Электрон. дан. – Томск, [2014] – URL: <http://www.hcei.tsc.ru/ru/cat/technologies/tech10.html>

intensify the irradiation of solutions and gases, a flow-through photoreactor is used, in which the irradiated medium goes through a quartz tube placed in the internal cavity of the excimer lamp. **BD_R Series** (barrier discharge, reactor) works according to this principle. The overall view and parameters of the model are shown in Fig. 5 and Table 3.

The institute has also gained a unique experience in developing photoreactors for irradiation of dense gases (up to 40 atm) on the basis of Xe_2 – excimer lamps [11].

The description of these and other models of excimer lamps can be found at www.hcei.tsc.ru in Section "Technology" [12]. Due to their widespread use, it was possible to conduct broad-scale studies of the excimer lamp radiation effects on different system (tab.4), in particular, on various aqueous solutions of toxic compounds for their removal [4, 9]; on microorganisms for their inactivation [7, 12]; on natural gas to clean it from the water impurities before injecting into the pipeline [11]; for sample preparation in analytical chemistry [13]; on the human skin for photo treatment of psoriasis, vitiligo, atopic dermatitis and eczema [13, 14], etc.

Here are some examples of the results obtained in recent years. In 2012–2013, in collaboration with Tomsk Agricultural Institute and ZAO "Siberian Agrarian Group", the question of the physiological effect of XeCl-excimer lamp radiation on animals was investigated [15]. Topicality of the study is connected with the fact that the animals of the contemporary large livestock complexes spend the entire life cycle indoors. On the one hand, it prevents the spread of epidemic diseases and on the other hand, animals are deprived of access to sunlight, including the short-wavelength part of the solar UV radiation (approximately 290–320 nm), that in natural conditions stimulates the physiological activity of the animals. It has been studied the physiological effect of radiation on outbred white mice and sows during their farrowing. The results revealed no toxicity and embryotoxicity, skin-desorptive and allergic effects of radiation, but showed an increase in body weight by 2.6–3.1%. In addition, a small irradiation doses for sows can reduce mortality of newborn piglets more than doubled. The facts found give hope for the future wide application of XeCl excimer lamps to provide technological processes in animal breeding.

In 2002, the staff of the Institute in the course of research on irradiation of living cells with excimer lamps, a threshold effect was found: the dependence of



12. **Автаева С.В., Жданова О.С., Пикулев А.А., Соснин Э.А., Тарасенко В.Ф.** Новые направления в научных исследованиях и применении эксиламп. Томск: STT, 2013.
13. **Соснин Э.А., Захарова Э.А., Баталова В.Н.** Применение эксиламп в аналитической химии. – Заводская лаборатория, 2005, т.71 (8), с.18.
14. **Dmitruck V.S., Sosnin E.A., Obgol'tz I.A.** The first attempt of XeCl-excimer lamp application in complex psoriasis curing. – Proc. SPIE, 2006, v.6263, p.316.
15. Патент RU 129761. Устройство для ультрафиолетового облучения животных / Э.А.Соснин, В.Ф.Тарасенко, И.И.Волотко, Д.Н.Сафонов
16. **Erofeev M.V., Kieft I.E., Sosnin E.A. et al.** UV excimer lamp irradiation of fibroblasts: the influence on antioxidant homeostasis. – IEEE Transactions on Plasma Science, 2006, v.34 (4), p.1359.
17. **Buonanno M., Randers-Pehrson G., Bigelow A.W. et al.** 207-nm UV Light - A Promising Tool for Safe Low-Cost Reduction of Surgical Site Infections. I: In Vitro Studies. – PLOS ONE, 2013, v.8 (10), e76968.

the number of survived cells of Chinese hamster on the administered dose of XeBr-excimer lamp ultraviolet radiation has a threshold nature, that is absent when inactivating microorganisms [16]. Due to this, now it is possible to choose such a dose of excimer lamp radiation that causes bacteria inactivation without violating the functional activity of fibroblasts in the living tissue. For example, it is important for surgery, for post-operative treatment of wounds. In particular, it has been hypothesized about reducing the risk of carcinogenesis in living tissues under the treatment of KrCl- or KrBr-excimer lamps. This hypothesis was confirmed in 2013, when the staff of Columbia University Medical Center (USA) conducted its experimental verification using BD_P excimer lamp, in particular, it was shown that: 1) the narrowband ultraviolet radiation of KrBr- excimer lamp is effective against antibiotic-resistant bacteria; 2) the radiation is almost harmless for the genetic material of human cells; 3) KrBr excimer lamp radiation is much comparatively safer than the standard mercury lamp radiation, traditionally used for disinfection, as it causes significantly less number of mutations [17].

All of the above review allows us to predict the future widespread application of photonics devices such as excimer lamps.