



ШЕШИН Евгений Павлович - доктор физико-математических наук, профессор, зам. зав. кафедрой Московского физико-технического института (МФТИ), научный руководитель Центра автоэмиссионных технологий факультета физической и квантовой электроники МФТИ, директор Центра «Нанотехнологии в электронике» МФТИ
Адрес: 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9
e-mail: Sheshin@mail.mipt.ru

ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ИСТОЧНИКИ ОБЩЕГО ОСВЕЩЕНИЯ С АВТОЭМИССИОННЫМИ КАТОДАМИ ИЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной рубрике публикуются материалы о наиболее интересных инновациях в области энергоэффективности и энергосбережения, представленных в базе данных «Промышленные инновации» Российского энергетического агентства Минэнерго РФ (ФГУ «РЭА» Минэнерго России)

Введение

Одной из основных задач современности является разработка и широкое применение энергосберегающих и, главное, долговечных и экологических источников света. К данному моменту разработано большое количество различных источников света. Но основной вопрос - создание источника света общего назначения (в квартире, офисе и т.д.) пока не разрешен. Наиболее часто используемые в офисах лампы «дневного света» и приобретающие популярность лампы на светодиодах имеют ряд особенностей, неблагоприятно влияющих на зрение и общее самочувствие человека.

В настоящее время происходит активная замена ламп накаливания на энергосберегающие лампы. Лампы накаливания имеют много плюсов (привычный для глаз спектр излучения, дешевизну производства, небольшие размеры, простоту в эксплуатации), но и большой недостаток, а именно, очень малый коэффициент полезного действия и небольшой срок службы. Энергосберегающие и люминесцентные лампы имеют высокую эффективность и продолжительный срок службы. Однако и они имеют существенные недостатки: содержат пары ртути, спектр излучения линейчатый, при включении мигают, а на полную яркость выходят за несколько минут. Для производства светодиодных источников света требуется применение весьма высоких и дорогих технологий, в том числе сверхчистых материалов, иногда крайне ядовитых, таких как мышьяк. Ряд материалов для полупроводниковых технологий имеют ограниченное распространение в природе, например, индий.

Источники света, которые должны выпускаться в настоящее время и в недалеком будущем, должны иметь высокую световую эффективность, большой срок службы и быть максимально экологическими как в производстве и эксплуатации, так и при их утилизации. Прежде всего, это предполагает отсутствие в конструкции и при производстве вредных веществ.

В России ведутся работы по созданию источников света общего назначения, основанных на катодолюминесценции под действием электронов, эмитируемых автокатодом из наноструктурированного углеродного материала [1], и свободных от указанных выше недостатков.

Принцип действия катодолюминесцентных источников света с автокатадами

Работа источников света с катодами из наноструктурированных углеродных материалов основана на явлении автоэлектронной эмиссии. Она заключается в вытягивании электронов из катода под воздействием электрического поля без затрат энергии (рис. 1). Электроны, вылетевшие из катода под действием поля модулятора, ускоряются электрическим полем анода и, ударившись в него, возбуждают световые кванты в слое люминофора, которые дают привычный для человека свет (рис. 2). Слой алюминия, показанный на рис. 2, служит для увеличения яркости свечения, т.к. излучение от зерен люминофора распространяется на 360°, а слой алюминия служит зеркалом, отражающим свет во внешнюю часть лампы.

Конструкция катодолюминесцентных источников света

В состав источника света (рис. 3) входит автокатод (наноструктурированный углерод), модулятор (нержавеющая сталь), анод (алюминий, телевизионный люминофор), корпус (стекло, как правило, оконное). Новизна

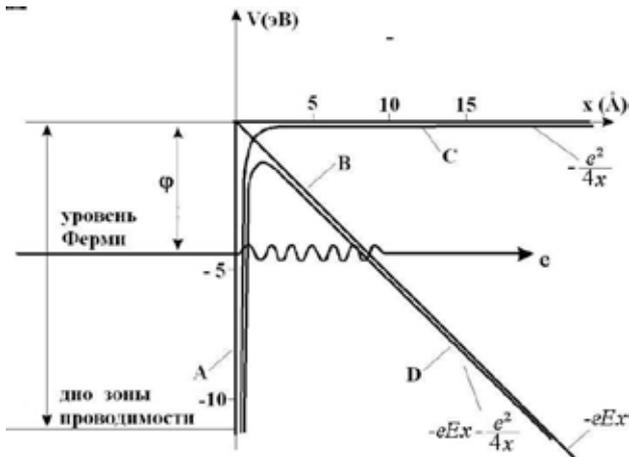


Рис. 1. Поверхностный потенциальный барьер на границе металл-вакуум в присутствии сильного электрического поля

Волнистой линией показан эффект туннелирования электронов сквозь барьер

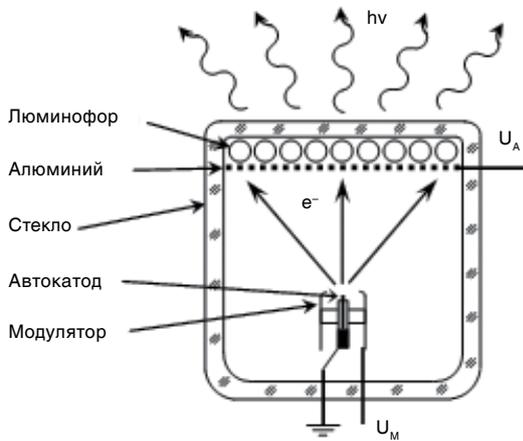


Рис. 2. Принципиальная схема работы катодолумinesцентного источника света с автокатодом

этих источников света - в автокатоде и электронном прожекторе, который обеспечивает засветку люминесцентного экрана [2].

В наших лабораториях разработаны весьма устойчивые и надежные автокатоды из наноструктурированных углеродных материалов (рис. 4, 5), которые при определенных режимах эксплуатации имеют практически неограниченный эмиссионный ресурс. Это обстоятельство в основном и определяет крайне высокую долговечность ламп с такими катодами. Аналогичных автокатодов, несмотря на конкуренцию многих организаций таких стран, как США, Великобритания, Южная Корея, Япония и Китай, пока нет нигде в мире.

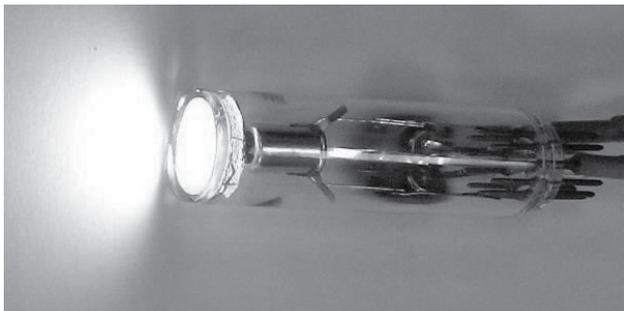


Рис. 3. Катодолумinesцентная лампа

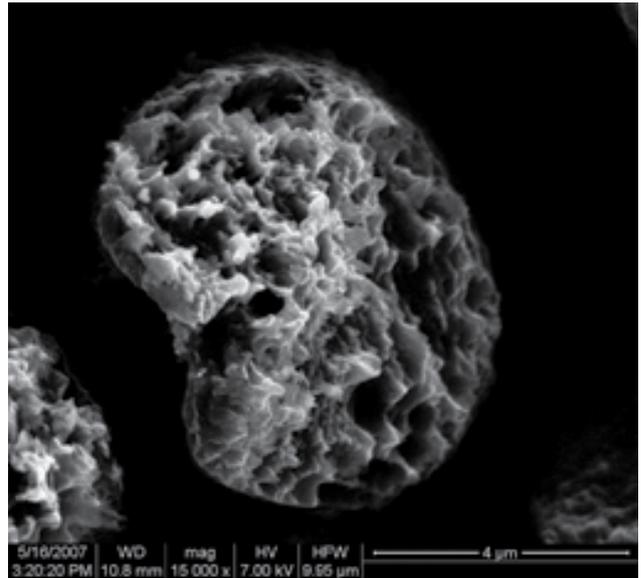


Рис. 4. Эмитирующая поверхность катода из углеродного волокна

В технологии изготовления автокатада используют углеродные материалы, промышленно производимые в Российской Федерации. Среди множества углеродных материалов наиболее перспективны углеродные волокна и терморасширенный графит. Их исходное структурное строение наилучшим образом подходит для автокатодов источников света по энергии электронов, необходимой для наиболее эффективного возбуждения катодолуминофора.

Для увеличения эмиссионного ресурса автокатада исходный материал подвергается дополнительной обработке [3, 4], которая осуществляется в несколько этапов:

- предварительная обработка исходного материала, как правило, температурная - она позволяет улучшить наноструктурированность исходного материала;
- формовка эмиссионной поверхности автокатада потоками ионов или фотонов - способствует вскрытию и увеличению числа эмиссионных центров и формообразованию автокатада;
- тренировка автокатада при термовакuumной обработке лампы на финишном этапе.

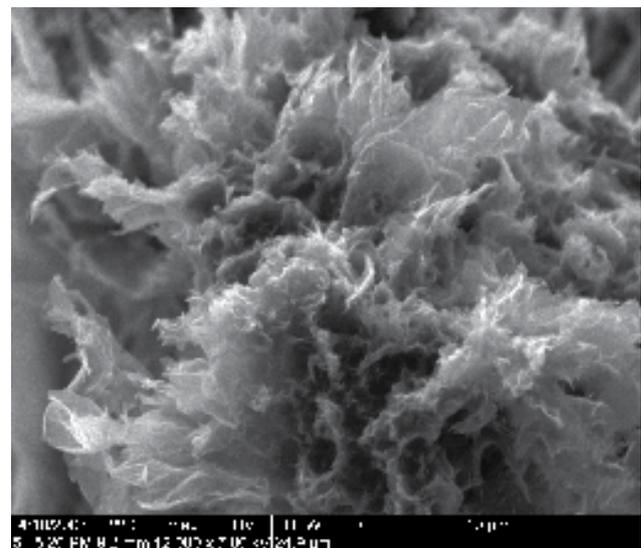


Рис. 5. Эмитирующая поверхность катода из углеродной фольги

Таблица 1

Сравнительные характеристики различных источников света общего назначения

Основные параметры	Катодолюминесцентная лампа	Лампы накаливания	Люминесцентная лампа	Энергосберегающая лампа	Лампы на светодиодах
Тип лампы	безнакальная, вакуумная	накаливания	газоразрядная	газоразрядная	полупроводниковая
Мощность лампы, Вт	25	100	40	20	7
Световой поток, лм	700-1500	1200	2800	1000	700
Эффективность, лм/Вт	30-60	12	70	50	100
Время включения, с	0,0005	0,1	1-3	1-3	0,0005
Чувствительность к перепадам напряжения	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Стабильность светового потока	Высокая	Средняя	Высокая	Высокая	Высокая
Устойчивость к внешней среде	Высокая -196 ÷ +150 °С	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая -40 ÷ +85 °С
Срок службы, ч.	50 000	1 000	10 000	10 000	50 000
Средняя продажная цена при массовом производстве	2,2-5 \$ возможно до 0,5-1 \$	0,2 \$	3-4 \$	2-3 \$	10 \$ (себестоимость)

В результате такой обработки удается получить автокатоды с высокой стабильностью и долговечностью. Лампы можно производить по стандартной технологии электровакуумного производства без дополнительных усилий по улучшению вакуумных условий в лампе, т.е. можно использовать обычное электровакуумное оборудование, которое имеется в наличии в Российской Федерации.

По совокупности примененных решений катодолюминесцентные лампы с автокатадами имеют следующие достоинства:

- высокая световая эффективность и яркость;
- благоприятный для человека спектр излучения;
- экологическая чистота - отсутствие вредных и ядовитых веществ;
- мгновенная готовность к работе;
- широкий диапазон рабочих температур (от -196 °С до +150 °С);
- большая площадь светоизлучающей поверхности;
- срок службы более 50 тысяч часов;
- в производстве ламп используются простая технология и широко распространенные в природе и дешевые материалы.

Основное применение разработки - экономичное и экологическое общее освещение (белого цвета) и подсветка различных объектов светом любого спектрального состава (R - красный, G - зеленый, B - синий) в видимом диапазоне.

На сегодняшний день разработано несколько прототипов катодолюминесцентных источников света с большим сроком службы. Для общего освещения можно использовать плоские катодолюминесцентные лампы, а также лампы, выполненные в виде традиционных люминесцентных. Заметим, что форма ламп может быть разнообразной. Кроме общего освещения катодолюминесцент-

ные лампы можно использовать для цветной подсветки и видеозэкранов большого размера.

Сравнительные характеристики основных современных источников света

В большом спектре всевозможных источников света, выпускаемых в настоящее время промышленностью, мы выбираем только те, которые могут быть использованы как лампы общего назначения. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики предлагаемого к производству катодолюминесцентного источника света и промышленно производимых источников света.

Предлагаемый источник света сопоставим по параметрам с наилучшими современными образцами, но превосходит их по рабочему температурному диапазону в 2-5 раз, равномерности свечения, низкой цене производства, использованию в производстве недорогих, доступных, широко распространенных в природе и экологически чистых материалов и технологий. Спектр излучения катодолюминесцентной лампы зависит от состава люминофора. Для ламп общего назначения он может быть выбран наиболее приближенным к естественному солнечному свету.

Имеются все предпосылки (разработки, производства) для организации массового изготовления таких ламп, которые могут обеспечить (за счет «ноу-хау») не только российский, но и мировой рынок.

Приведенные выше образцы ламп были разработаны для других программ и имеют соответствующие люминофоры и конструкцию. В настоящее время, к сожалению, не существует разработанных ламп общего назначения с автоэлектронным катодом ни у нас, ни за рубежом. Поэтому на первом этапе необходимо разрабатывать рабочий прототип такой лампы.

Литература:

1. Шешин Е.П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. - М.: МФТИ, 2001.
2. Лейченко А.С., Шешин Е.П., Шука А.А. Наноструктурные углеродные материалы в катодолюминесцентных источниках света // Электроника: наука, технология, бизнес.- 2007. - №6. - С. 94-101.
3. Лейченко А.С., Лешуков М.Ю., Лупарев Н.В.,

Шешин Е.П. Формирование эмитирующей поверхности автокатодов из пучков углеродных волокон коронным разрядом// Материалы 5-й международной конференции «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология». Москва, 2006. - С. 116.

4. Лейченко А.С., Стариков П.А., Шешин Е.П. Источник свободных электронов на основе автоэмиссионного катода из углеродной фольги // Материалы XIV научно-технической конференции «Вакуумная наука и техника». М.: МГИЭМ, 2007. - С. 228-231.