

**Акимов П.И.^{1,2}, Кудряшов А.В.², Иванов В.В.²,
Смирнов В.А.^{1,2}, Чудин В.Г.¹, Шешин Е.П.²**

¹АО НПП «Торий»

²Московский физико-технический институт

Лезвийные автокатоды из ТРГ

Рассмотрены вопросы изготовления и использования лезвийного типа автокатодов на основе терморасширенного графита.

Ключевые слова: катодолюминесцентные источники света, автоэлектронная эмиссия, углеродные материалы, лезвийные автокатоды.

Катодолюминесцентные лампы, принцип действия которых основан на явлении автоэлектронной эмиссии, являются энергосберегающими, долговечными и экологически безопасными источниками света. Наиболее перспективным представляется изготовление основного элемента источника — автоэмиссионного катода — из углеродных материалов, обладающих химической устойчивостью, высокой стабильностью и уникальными механическими свойствами.

Благодаря увеличению площади эмитирующей поверхности при использовании лезвийного типа катодов становится возможным получение высоких значений автоэмиссионного тока.

Благодаря ряду достоинств, среди которых можно выделить низкую потребляемую мощность, широкий температурный диапазон, отсутствие накала, нечувствительность тока к внешней радиации, высокое быстродействие и благоприятный для визуального восприятия спектральный состав, а также отсутствие проблем при утилизации, катодолюминесцентные источники света могут применяться в качестве осветительных ламп, элементов подсветки дисплеев, резервного освещения и т.д.

Автоэмиссионный катод является одним из основных элементов в конструкции катодолюминесцентной лампы. В зависимости от области применения при изготовлении автоэмиссионных катодов используются различные конструкции. Основными типами автокатодов, используемых в современной электронике, являются острейные, лезвийные (проволочные) и пленочные.

Эмиссионные характеристики и свойства конечного прибора определяются материалом автокатаода. Одним из основных критериев качества автоэмиссионного катода является его устойчивость к воздействию ионов остаточных газов. По данному критерию наиболее перспективным для изготовления автокатодов является углерод. Использование определенных типов углеродных материалов в качестве автоэммиттеров определяется их физическими свойствами, например, электропроводностью, работой выхода электронов, минимальным размером структуры, характерным размером исходного углеродного порошка.

В последнее время в качестве автоэмиссионных катодов были опробованы такие материалы, как углеродные волокна, нанотрубки, различные типы графитов [1,2].

Терморасширенный графит (ТРГ) — это материал, получаемый из графита путем окисления и термообработки. На первом этапе осуществляется внедрение молекул и ионов

кислоты (серной или азотной) в присутствии окислителя между слоями кристаллической решетки графита. При этом происходит увеличение межслоевого расстояния углеродной матрицы.

На втором этапе окисленный графит подвергается термообработке при температуре 900-1000 °С.

Благодаря высокой скорости нагрева газообразные продукты разложения внедренной кислоты резко выделяются из кристаллической решетки графита. В результате межслоевое расстояние увеличивается примерно в 300 раз, а число маленьких частиц графита и объем пробы увеличивается в 60-400 раз.

Полученный терморасширенный графит прокатывают и прессуют.

ТРГ характеризуется высокой химической стойкостью, широким диапазоном рабочих температур, способностью к формованию (прокатке, прессовке) без добавления связующего. Развитая структура поверхности ТРГ,

обеспечивающая значительное усиление электрического поля, а также низкая работа выхода электронов позволяют использовать этот материал в качестве автокатода и наблюдать стабильную эмиссию в условиях технического вакуума[3].

Одной из наиболее важных характеристик автокатодов является максимально достижимое значение общего автоэмиссионного тока. Эта величина зависит от плотности тока и от площади эмитирующей поверхности.

Увеличение плотности тока автоэмиссии при данном значении ϕ возможно за счет увеличения напряженности поля E . Однако увеличение E ограничивается механической прочностью материала катода.

В то же время увеличение автоэмиссионного тока за счет увеличения площади эмитирующей поверхности не имеет принципиальных физических ограничений и становится возможным при использовании лезвийных и многолезвийных катодов. В этом случае площадь эмитирующей поверхности может быть увеличена вплоть до $10^{-2} - 10^{-1}$ см². Эмитирующие центры лезвийных автокатодов представляют собой микровыступы на их поверхности, образующиеся в процессе предварительной механической и электрохимической обработки.

Впервые использование острых лезвий в качестве автокатодов было предложено Дайком в 1960 году [4]. Первоначально лезвийные автокатоды изготавливались из металлов (например, острый диск [5] или многолезвийный катод из стальных лезвий для безопасных бритв [6]). Принципиальным недостатком лезвийных автокатодов из металлов является их клинообразная форма, так как в процессе работы автокатода ионная бомбардировка приводит к затуплению острого края лезвия и спаду тока автоэмиссии.

В данной работе в качестве катода была использована углеродная фольга.

Полученная из ТРГ путем прокатки, фольга имеет гладкую поверхность, с которой невозможно получить эмиссию. Однако благодаря изготовлению из фольги лезвийного типа катода удалось пронаблюдать эмиссию с ее торцевой части, имеющей рыхлую структуру и содержащей достаточное количество эмиссионных центров.

В ходе эксперимента был изготовлен катодно-модуляторный узел (КМУ), который является основой для создания катодолюминесцентной лампы общего освещения. КМУ представляет собой конструкцию, состоящую из катода и модулятора, закрепленных на «ножке». Катод изготовлен на основе фольги из ТРГ толщиной 220 ± 10 мкм и плотностью $1,65 \pm 0,05$ г/см³ и помещен в никелевую трубку диаметром около 1 мм. Выступающая часть катода имеет форму полукруга радиусом 0,5 мм. Модулятором служит вольфрамовая проволока диаметром 0,3 мм в форме овала, находящаяся на расстоянии ~ 1 мм от катода. Модулятор также закреплен на «ножке» при помощи никелевой трубки. При проведении эксперимента в вакуумной камере в качестве анода использована стеклянная

колба с проводящим покрытием из ИТО (Indium tin oxide), на которую предварительно был нанесен люминофор. Расстояние между катодом и анодом составило около 15 мм.

В течение первых 30 минут работы автокатода наблюдается резкое падение автоэмиссионного тока (450 мкА/ч). Затем прибор выходит на режим работы, при котором происходит медленная деградация катода. Полученный график зависимости тока от времени позволяет оценить скорость деградации. Для исследуемого образца она составляет 25 мкА/ч.

Катод из фольги ТРГ позволяет получить большие значения автоэмиссионного тока (около 800 мкА), однако для него характерна медленная деградация, что неприемлемо в работе реального прибора. Эффект деградации автокатода связан с характером термической обработки материала, из которого получен ТРГ. Вследствие недостаточно высокой температуры обработки графита эмиссионные центры изготовленного автокатода имеют малую прочность, что способствует его деградации и уменьшению тока автоэмиссии.

Таким образом, для более стабильной работы катода на основе фольги ТРГ целесообразно увеличить температуру обработки исходного материала (графита).

ТРГ характеризуется высокой химической стойкостью, широким диапазоном рабочих температур, способностью к формованию без добавления связующего. Развитая структура поверхности ТРГ, обеспечивающая значительное усиление электрического поля, а также низкая работа выхода электронов позволяют использовать его наряду с другими углеродными материалами в качестве основы для создания автоэмиссионных катодов.

Используемая в эксперименте триодная конструкция позволяет эффективно управлять потоком электронов, эмиттируемых из катода. Благодаря выбору лезвийного типа автокатода становится возможным получение высоких значений автоэмиссионного тока в следствие увеличения площади эмиттирующей поверхности. Таким образом, созданный в ходе эксперимента катодно-модуляторный узел может являться основой для создания катодолюминесцентной лампы общего освещения.

Библиографический список

1. Watt W. Production and properties of high modulus carbon fibres. // Proceedings of the Royal Society. 1970. № 1536. P.5.
2. Gulyaev Iu.V., Chernozatonskiy L.A., Kosakovskaya Z. Ia. Field emitter arrays on nanotube carbon structure films. // J. Vac. Sci. Technol. B. 1995. V.13. P. 435–436.
3. Шешин Е.П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. М.: МФТИ. 2001. 287 с;
Sheshin E.P. Structura poverhnosti i avtoemissionnye svoistva uglerodnyh materialov. M.: MFTI. 2001. 287 p (in Russian).
4. Dyke W.D. Field emission. A newly practical electron source. IRE Trans: on Military Electronics. MIZ. 1960. №1. V. 4. P. 38.
5. Широков Е.Г. Методика приготовления и контроля эмиссионной поверхности вольфрамового лезвия дискообразной формы. Изв. СОАН СССР. Сер. Техн. Наук. 1965. Т. 6. №2. С. 145;
Shirokov E.G. Metodika prigotovleniia i kontroliia emissionnoy poverhnosti volframovogo lezviia diskoobraznoy formy. Izv. SO AN SSSR. Ser. Tehn. Nauk. 1965. T. 6. №2. P. 145 (in Russian).
6. Бондаренко Б.В., Макуха В.И. Автоэлектронный катод из стальных лезвий. // ПТЭ. 1972. №4. С. 235–236;
Bondarenko B.V., Makuha V.I. Avtoelektronnyy katod iz stalnyh lezviy. // PTE. 1972. №4. P. 235–236 (in Russian).