

Углеродные материалы для автокатодов люминесцентных источников света

И.Н. Косарев Б.И. Маснавиев, В.И. Фролов, Е.П. Шешин, Чжо Мое Аунг, Йе Мин Хтуе

Московский физико-технический институт

Аннотация: В данной работе, рассматриваются два типа углеродных материалов автокатодов для люминесцентных источников освещения. ПАН волокна и нити из углеродных нанотрубок (УНТ-нити) исследовались в растровом электронном микроскопе, затем использовались в качестве автокатада в вакуумной камере, после чего степень деградации материалов оценивалась по вновь сделанным РЭМ-фотографиям. При изучении эмиссионных свойств ПАН волокон и УНТ-нитей были сняты вольтамперные характеристики.

Ключевые слова: углеродные материалы, автокатоды, ПАН волокна, люминесцентные источники света

1. Введение

Реальной альтернативой существующим энергосберегающим источникам света могут стать экологически безопасные энергосберегающие катодолюминесцентные источники света нового поколения, основанные на свечении люминофора под действием электронов, полученных при автоэлектронной эмиссии с автокатада. В настоящее время не существует разработанных оптимизированных конструкций ламп общего назначения с автоэлектронным катодом. Поэтому первоочередной задачей является разработка прототипов высокоэффективных катодолюминесцентных источников света [1,2].

2. Результаты и обсуждение

Были выбраны образцы материалов наиболее перспективные для использования в качестве автоэмиссионных катодов: полиакрилонитрильное (ПАН) волокно, нить из углеродных нанотрубок (УНТ-нить).

Данные материалы предполагалось сравнить в ходе экспериментов по определению количественных характеристик их автоэмиссионных свойств и способности сопротивления деградации.

Для исследований автоэмиссионных свойств было использовано ПАН волокно предоставленное НИЦ «Углекимволокно». Катод в данном случае представляет собой пучок из 200-250 волокон диаметром 5-6 мкм (рис. 1). Свойства ПАН волокна были сравнены со свойствами УНТ-нити предоставленной ФГБНУ ТИСЧУМ. В данном случае объектом исследования является образец углеродной нити диаметром около 30-40 мкм, состоящий из длинных пучков нанотрубок (рис. 2).

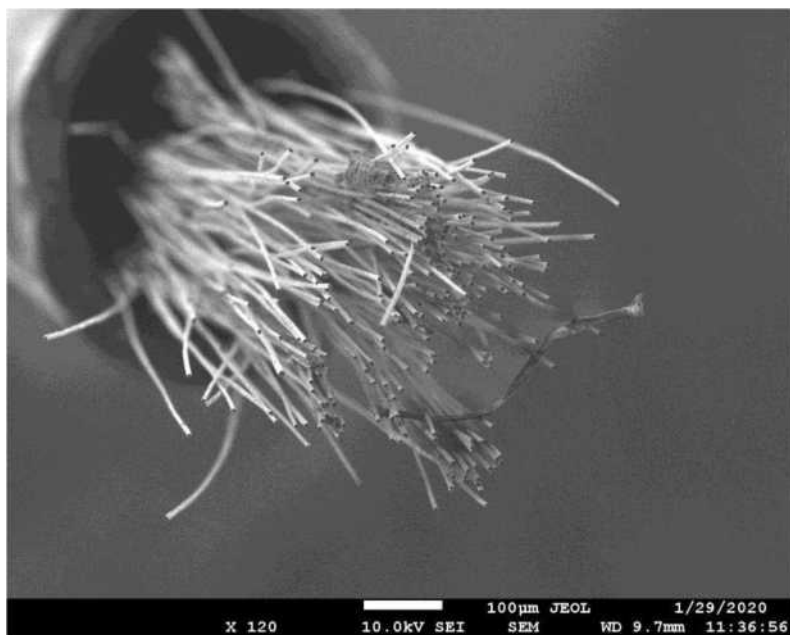


Рисунок 1. Фотография автокотада из ПАН волокон до экспозиции в вакуумной камере.

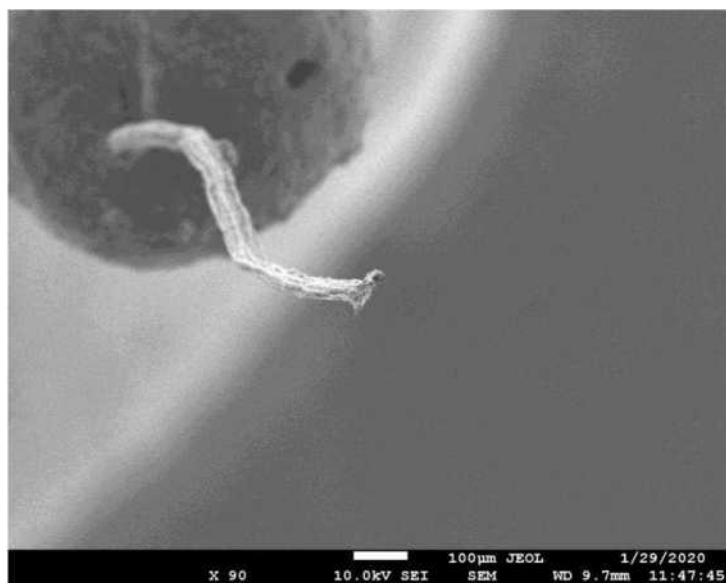


Рисунок 2. РЭМ фотография автокотада на основе УНТ-нити. Диаметр нити 35 мкм.

УНТ-нить получали из смеси углеродсодержащих реагентов и железосодержащего катализатора аэрозольным методом путем вытягивания непосредственно из реактора и накручивания на катушку приемника продукта.

Структурные характеристики образца УНТ-нити исследовали с помощью методов сканирующей высокого разрешения. Пучки длинных нанотрубок состоят из двустенных нанотрубок до 70% с распределением диаметра 1,5-2,5 нм и длиной более 1500 нм. Графеновые слои двустенных углеродных нанотрубок ориентированы в длинных пучках (рис. 3).

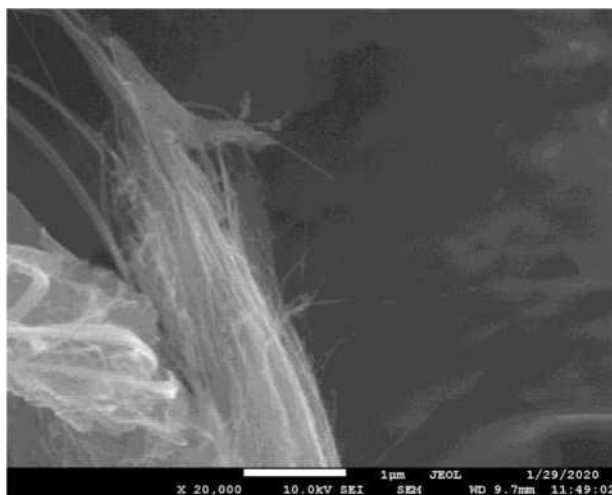


Рисунок 3. Отдельные нанотрубки на конце УНТ-нити в растровом микроскопе до экспозиции в качестве катода.

Углеродные материалы исследовались в растровом электронном микроскопе, затем использовались в качестве автокатаода в вакуумной камере, после чего степень деградации материалов оценивалась по вновь сделанным РЭМ-фотографиям.

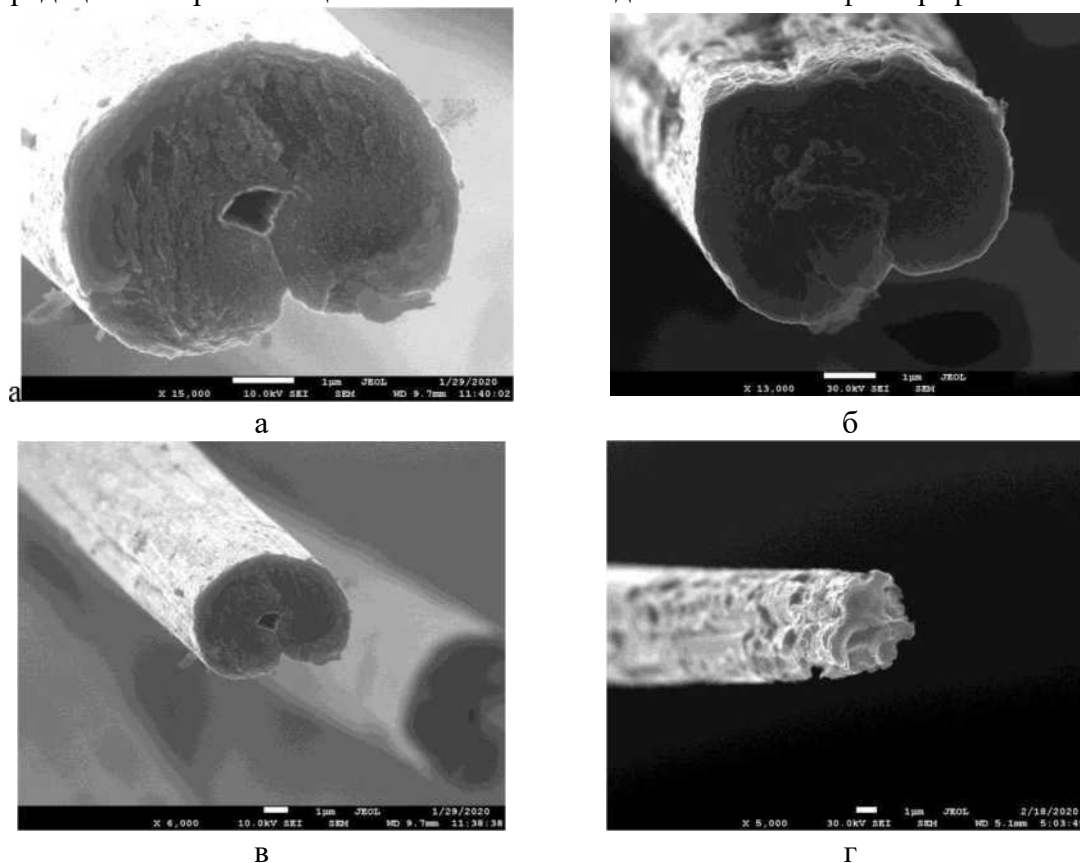


Рисунок 4. РЭМ фотографии ПАН волокна до (а,в) и после(б,г) экспозиции в вакуумной камере.

В результате использования ПАН волокон в качестве автоэмиссионного катода, наблюдаются различные стадии разрушения кончиков отдельных волокон. До экспозиции волокна имеют плоский торец с резковыраженными краями, а боковая поверхность является цилиндрической (Рис. 4а, 4в). После экспозиции в качестве катода в течение 2 часов концы некоторых отдельно-стоящих волокон приобрели

коническую форму и покрылись глубокими кавернами (Рис. 4г). Степень деградации волокон зависит от напряженности электрического поля вблизи него при эмиссии. Волокна, сбившиеся в пучки, или те, торцы которых находятся глубже остальных, изменяют форму слабее (Рис. 4б), чем выступающие или отдельностоящие вследствие меньшей локальной напряженности электрического поля. В то же время при длительной экспозиции выступающие волокна выравниваются с остальными, и деградация волокон становится более распределенной и равномерной по пучку волокон. Следствием этого является способность ПАН волокна выдерживать высокие токи эмиссии длительное время.

На следующем рисунке (рис. 5) представлено увеличенное изображение УНТ-нити после двухчасовой экспозиции в качестве автоэмиссионного катода. Деградация УНТ-нити схожа с таковой у ПАН волокна: появление конусовидной структуры и каверн на конце нити. Кроме того отсутствуют отдельно торчащие нанотрубки. Можно предположить, что произошло спекание верхнего слоя на эмитирующем коническом окончании УНТ-нити.

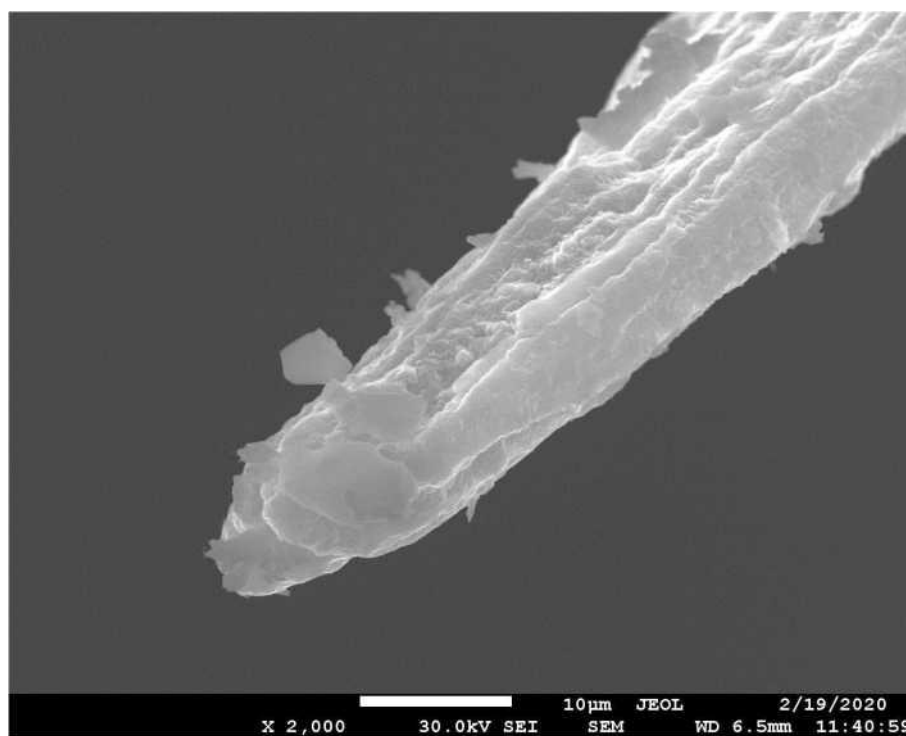


Рисунок 5. Фотография УНТ-нити после эмиссии в вакуумной камере в течение 2 часов

УНТ-нить в 6-8 раз превосходит отдельное ПАН волокно по диаметру и 40-70 раз по площади поперечного сечения, но учитывая то, что в пучке находится 200-250 волокон, которые деградируют равномерно, то преимущество в большем сроке службы имеют катоды из ПАН волокна.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) является одним из важнейших показателей автоэмиссионных свойств катода. Измерения тока проводились после его стабилизации: по истечении 5-8 мин после изменения напряжения на аноде, когда флуктуации в течение 1 минуты не превосходили $\pm 5\%$.

Для сравнения ВАХ катодов из ПАН волокна и УНТ-нити были построены на одном графике (рис. 6).

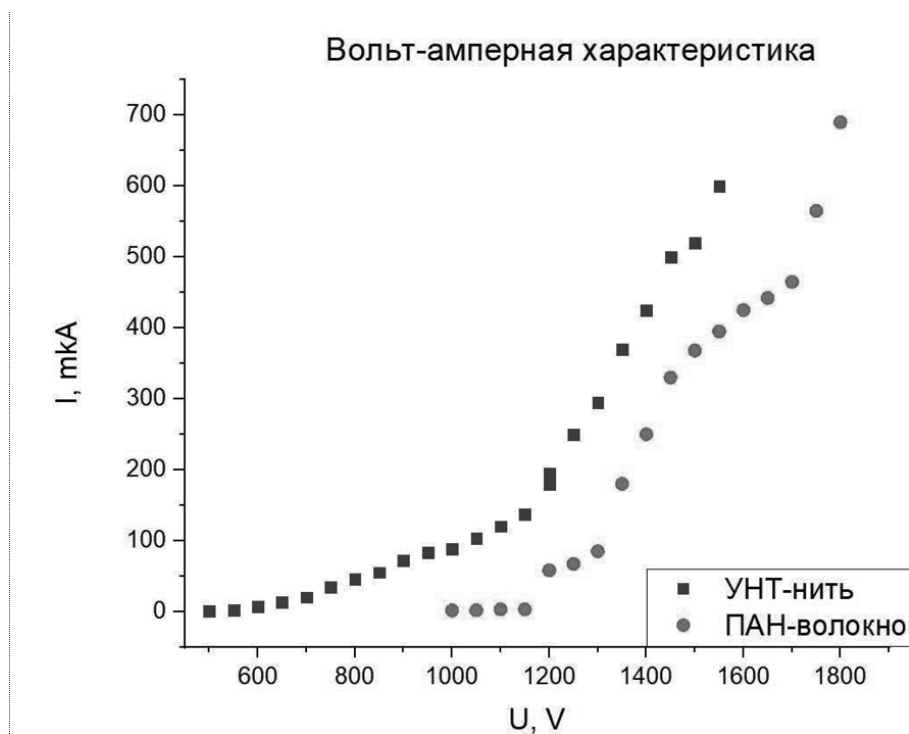


Рисунок 6. ВАХ катодов из УНТ-нити и ПАН волокна.

УНТ-нить обладает более высокими эмиссионными свойствами. Так например, при напряжении 1400 В ток эмиссии катода из ПАН волокна 250 мкА, а из УНТ-нити 425 мкА. В то же время оба материала демонстрируют высокие показатели эмиссионного тока, удовлетворяющие требованиям к катодам в автоэмиссионных лампах.

3. Заключение

Проведенные исследования автоэмиссионных свойств катодов из ПАН волокон и УНТ-нитей показали, что первые имеют преимущества в сроке службы. Фотографии, полученные на растровом электронном микроскопе, показали, что за одно и то же время экспозиции некоторые из отдельных ПАН волокон практически не подверглись износу, в то время как конец нити из углеродных нанотрубок существенно поменял форму.

УНТ-нить в свою очередь выдает больший ток эмиссии при том же уровне напряжения, что следует из полученных вольт-амперных характеристик. При этом оба материала демонстрируют высокую эмиссионную способность, удовлетворяющую требованиям к катодам люминесцентных ламп.

Список литературы

1. А.С. Бугаев, В.Б. Киреев, Е.П. Шешин, А.Ю. Колодяжный, “Катодолуминесцентные источники света (современное состояние и перспективы)”, УФН, 185:8 (2015), 853-883
2. A.Yu. Kolodyazhnyi, A.O.Getman, D.J.Ozol and E.P.Sheshin., J.of vacuum science and Technology B, v.37, 3, 10.11.16/1.5070108,2019.