

## УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВТОКАТОДОВ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

### CARBON MATERIALS FOR COLD CATHODE IN LUMINESCENT LIGHT SOURCES

**И.Н.Косарев** (ORCID: 0000-0003-2108-8964), kosarev.in@phystech.edu  
**Б.И.Маснавиев, В.И.Фролов, Е.П.Шешин**

**I.N.Kosarev** (ORCID: 0000-0003-2108-8964), **B.I.Masnaviev, V.I.Frolov, E.P.Sheshin,**

Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный, Московская обл.

*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 автокатода 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.*

*In this work, two types of carbon cathode materials are considered for fluorescent light sources. PAN fibers and carbon nanotube threads were studied in a scanning electron microscope, then they were used as a field cathode in a vacuum chamber. The degradation of samples was estimated from newly taken SEM photographs. When studying the emission properties of PAN fibers and carbon nanotube threads, current-voltage characteristics were measured.*

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

Key words: *carbon cathode materials, PAN fibers, luminescent light sources.*

#### **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 автокатода. 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].

#### **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).

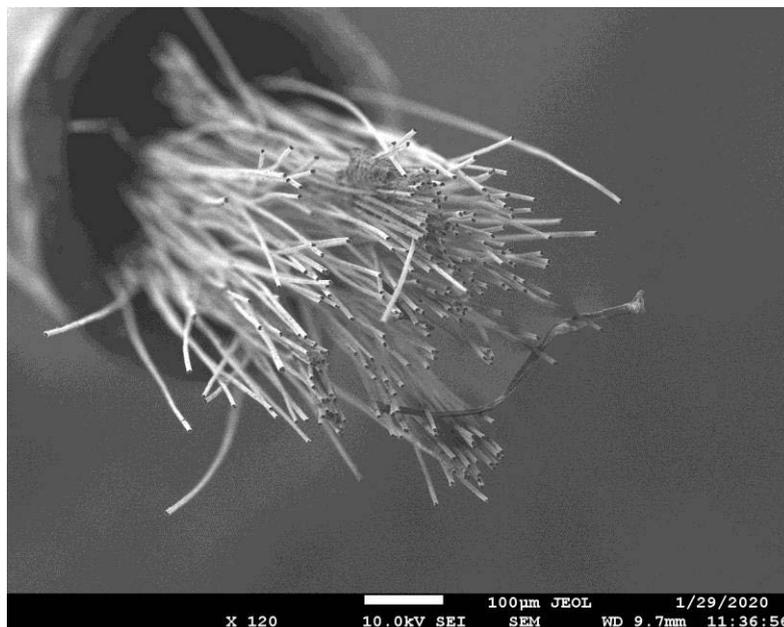


Рис.1. Электронограмма автокатода из ПАН волокон до экспозиции в вакуумной камере.

Свойства ПАН волокна были сравнены со свойствами УНТ-нити предоставленной ФГБНУ ТИСНУМ. В данном случае объектом исследования является образец углеродной нити диаметром около 30-40 мкм, состоящий из длинных пучков нанотрубок (рис. 2).

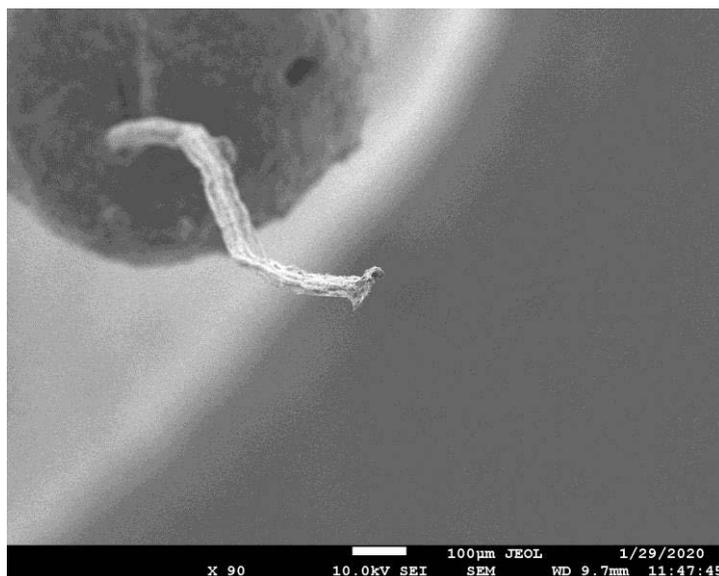


Рис.2. РЭМ фотография автокатода на основе УНТ-нити. Диаметр нити 35 мкм.

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).

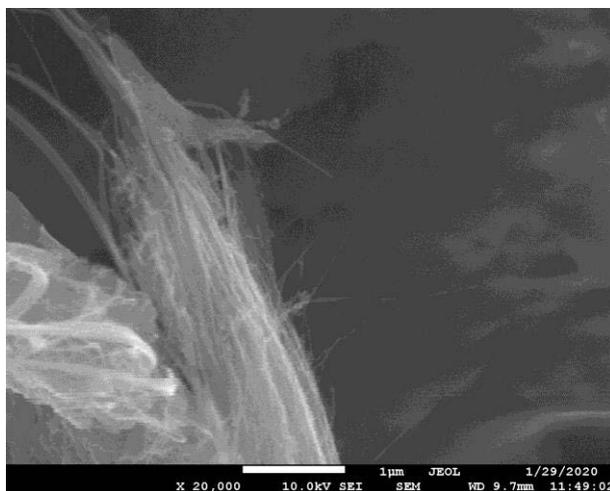


Рис.3. Отдельные нанотрубки на конце УНТ-нити в растровом микроскопе до экспозиции в качестве катода.

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

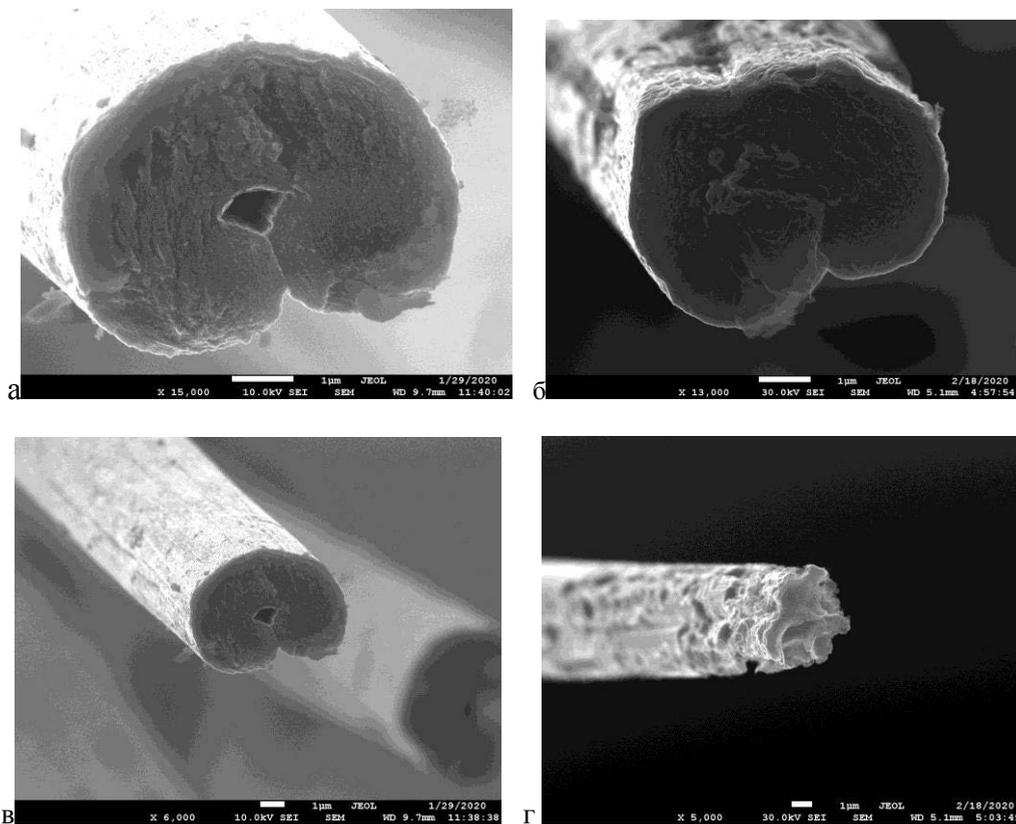


Рис.4. РЭМ фотографии ПАН волокна до (а,в) и после(б,г) экспозиции в вакуумной камере.

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.

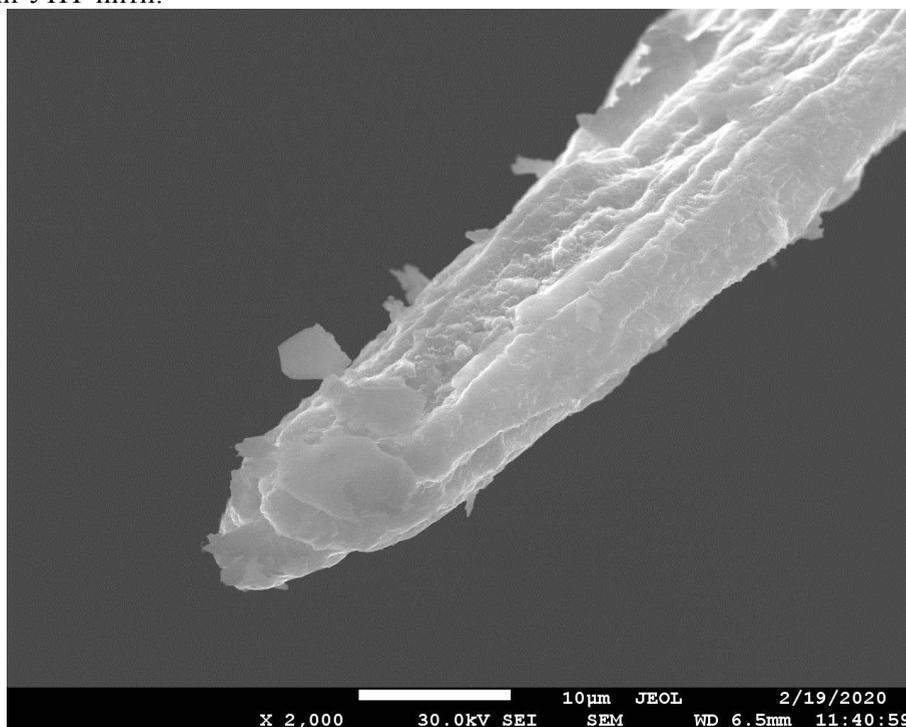


Рис.5. Фотография УНТ-нити после эмиссии в вакуумной камере в течение 2 часов

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).

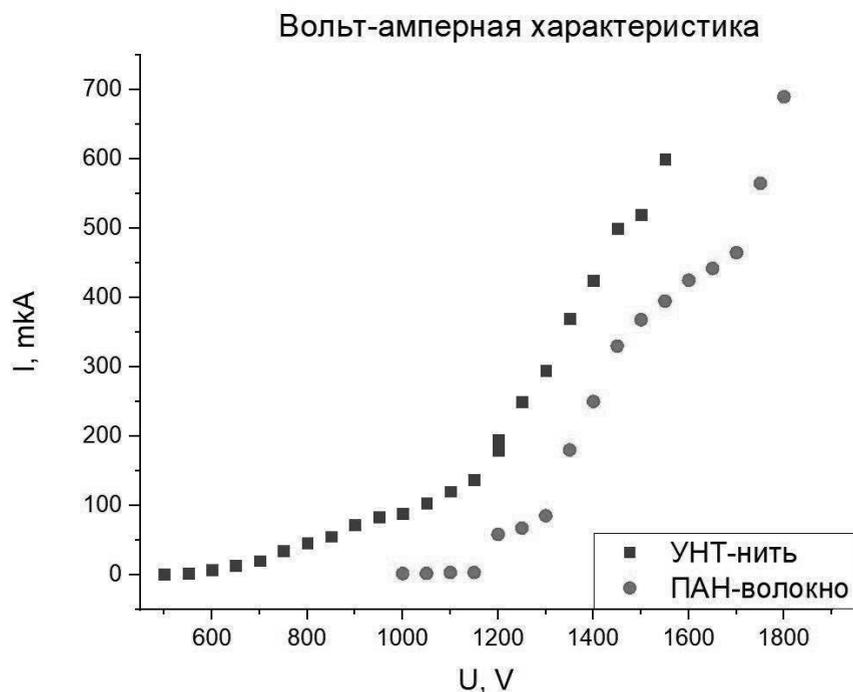


Рис.6. ВАХ катодов из УНТ-нити и ПАН волокна.

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.

## ВЫВОДЫ

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.

## ЛИТЕРАТУРА

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.