

**И.М. Сидорченко¹, М.М. Нищенко¹, Н.А. Шевченко¹, Г.А. Фролов²,
Л.Л. Сартинская²**

¹*Институт металлофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины,*

²*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины,
г. Киев, Украина*

ЭМИССИОННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОСТРУКТУРНЫХ КАТОДОВ

Для работы прямого термоэмиссионного преобразователя тепловой энергии в электрическую необходимо два условия: наличие термоэлектронной эмиссии (J) и контактной разности потенциалов (V_k). Термоэлектронную эмиссию на уровне $0,1 - 10 \text{ А/см}^2$ [1], который соответствует эффективному катоду, можно получить с поверхности чистых тугоплавких металлов (W, Mo и др.) только в результате их нагрева до температур свыше $2000 \text{ }^\circ\text{C}$. Работа выхода ϕ этих металлов зависит от грани и от чистоты поверхности, например, для W(110) $\phi \geq 4,7-5,3 \text{ эВ}$, а для Mo (110) $\phi \geq 4,82-5,0 \text{ эВ}$ [2].

Однако, низкотемпературные источники тепла более доступны для использования, чем высокотемпературные, поэтому представляется актуальным рассмотреть вопрос о прямом преобразовании электромагнитной энергии в электрическую эмиссионным способом в температурном диапазоне $300-600 \text{ }^\circ\text{C}$. Такие температуры могут быть легко достигнуты при нагреве материалов концентрированным солнечным излучением. Реализация идеи прямого превращения солнечной энергии в электрическую в указанном диапазоне температур может стать реальностью, если использовать в качестве катодов углеродные нанотрубки (УНТ). Они уже зарекомендовали себя как эффективные автоэлектронные эмиттеры. Определяющим в этом случае является малый радиус ($\sim 1-10 \text{ нм}$) нанотрубок, что позволяет существенно (на 2-3 порядка) снизить напряжение на электродах [3]. Явление автоэлектронной эмиссии, вследствие квантово-механической природы процесса, занимает особое место, так как туннельный механизм выхода электрона из твёрдого тела не требует энергетических затрат, в отличие от термо- и фотоэлектронной эмиссии. Появление дефектов в углеродных нанотрубках изменяет её электронные характеристики, что необходимо учитывать при разработке материалов для катодов в прямых эмиссионных преобразователях концентрированной солнечной энергии в электрическую.

В работе изучены эмиссионные свойства материалов: 1) углеродные нанотрубки, с разной степенью дефектности; 2) спрессованные углеродные нанотрубки с металлическими микрочастицами LaNi_5 ; 3) композиты УНТ с BN и материалами, которые уменьшают работу выхода катода (BaO , Cs, CaO). В качестве анода использовались материалы: Mo и Ni трубки, заполненные композитами УНТ различной дефектности с LaNi_5 и Cs.

Многослойные углеродные нанотрубки диаметром 11 нм и толщиной стенок 3,5 нм с краевыми дислокациями и без них получали методом CVD пиролиза этилена на катализаторах Al-Fe-Mo. Их идентифицировали на электронном микроскопе JEM-100CX11. Катоды получали прессованием массива нанотрубок и композитов на их основе в таблетки диаметром 17 мм и толщиной 2 мм. Анод в виде проволоки Mo, а также Ni трубок с отверстиями, заполненных УНТ разной степени дефектности в сочетании с LaNi₅ и Cs, располагался на расстоянии 1,5 мм от поверхности катода и охлаждался за счёт отвода тепла к корпусу вакуумной камеры с радиатором для его рассеяния. Поток солнечного излучения падал на сферическое зеркало диаметром 1,5 м, от которого он отражался, проходил через кварцевое окно вакуумной камеры (0,1 Па) и фокусировался на поверхности катода в виде пятна диаметром 10 мм. Количественной характеристикой интенсивности солнечной радиации служила температура катода, измеряемая термопарой. Измерялась зависимость эмиссионного тока (в режиме короткого замыкания) и напряжения на электродах (в режиме холостого хода) от температуры катода.

По результатам исследований установлено:

1. Образцы отожженных УНТ и композиты УНТ с LaNi₅, Cs и NB показали значение напряжения на электродах 2-2,5 В. В образце УНТ с дефектами графенового слоя существенно (на порядок) снижается эмиссионный ток.

2. Все многокомпонентные нанокompозиты, содержащие NB и УНТ показали значение тока в режиме короткого замыкания от 10 до более чем 100 мА.

3. Оптимальные результаты получены на образцах УНТ 604А + Cs + LaNi₅: $U=2,5$ В, $I=5$ мА и многокомпонентного композита на основе NB и УНТ: $U=1,5$ В, $I=100$ мА

4. В процессе эксперимента наблюдалось три режима работы преобразователя: 1) происходит нагрев анода, в результате происходит эмиссия электронов с анода на катод (отрицательные значения тока и напряжения $I \sim -1$ мА, $U \sim -1$ В); 2) в этом случае ток достигает 10 мА, а напряжение менее 0,1 В – характерно для эмиссии с катода на анод; 3) наиболее эффективный режим, когда напряжение около 1 В, а потребляемый ток более 0,1 А.

На рис. 1 а изображена экспериментальная кривая, полученная на образце УНТ 99%+NB+Cs+УНТ 604А+BaO с Mo-анодом, соответствующая третьему режиму работы преобразователя. Видно, что ход экспериментальной кривой напоминает участок кривой ВАХ газового разряда рис. 1 б. Различия в показателях тока и напряжения вызваны тем, что механизмы протекания разряда отличаются. В работе [4] разряд возникает в результате приложения высоких напряжений к электродам, а в нашем случае – в результате ионизации пространства между электродами под действием УФ-излучения.

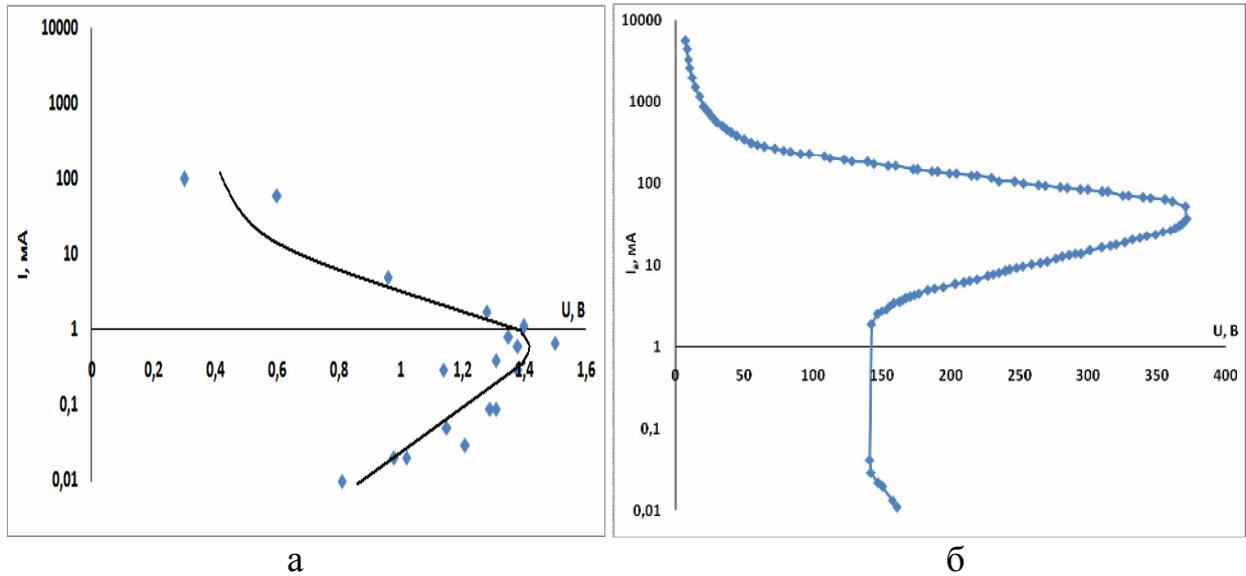


Рисунок 1 - Вольт-амперные характеристики: а). для эмиссии под действием солнечного излучения (экспериментальные данные); б). для газового разряда (литературные данные)[4].

Участок кривой на рис. 1 б, где наблюдается постепенный рост напряжения и тока характеризует аномальный тлеющий разряд, который приводит к ионизации пространства между электродами, при достаточном количестве ионов происходит падение сопротивления газового пространства и разряд переходит в дуговую форму. В нашем случае ионизация происходит под действием УФ-излучения, благодаря наличию в композите щелочного металла Cs, имеющего наименьшие (среди элементов периодической системы) энергию ионизации ($E_{и} = 3,89 \text{ В}$) и работу выхода ($\phi = 1,81 \text{ В}$). Основным фактором, выступающим в пользу использования данных материалов в качестве катодов, является то, что ток 0,1 А достигается при температуре катода менее 300°C .

1. Н.Д. Моргулис, УФН **70**, 679 (1960).
2. Б.П. Вараксин, А.С. Титков, В.И. Силантьев, Н.А. Шевченко, Поверхность **11**, 125 (1991).
3. А.В. Елецкий, УФН **172**, 401 (2002)
4. Е.Т. Кучеренко, *Справочник по физическим основам вакуумной техники* (Вища школа, Киев, 1981), 264 с.