

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДНОГО
МАТЕРИАЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
СУПЕРКОНДЕНСАТОРА**

Д.Ю. Кукушкин, В.В. Слепцов, А.О. Дителева, Р.А. Цырков

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ, СУПЕРКОНДЕНСАТОР,
НАКОПИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ, ВОДНЫЙ ЭЛЕКТРОЛИТ,
НАНОЧАСТИЦЫ, УГЛЕРОДНАЯ МАТРИЦА, УГЛЕРОДНОЕ
ВОЛОКНО

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF
NANOSTRUCTURING OF AN ELECTRODE MATERIAL
ON THE CHARACTERISTICS OF A SUPERCAPACITOR**

D.Yu. Kukushkin, V.V. Sleptsov, A.O. Diteleva, R.A. Tsyrvkov

KEYWORDS

NANOSTRUCTURING, SUPERCAPACITOR, ENERGY STORAGE,
AQUEOUS ELECTROLYTE, NANOPARTICLES, CARBON MATRIX,
CARBON FIBER

В последние годы технологии хранения энергии становятся все более актуальными в свете растущей потребности в эффективных и надежных источниках энергии. Суперконденсаторы выделяются среди других устройств благодаря своей способности обеспечивать высокую плотность мощности и длительный срок службы. Однако для достижения оптимальных характеристик суперконденсаторов необходимо улучшить свойства их электродных материалов. Основными параметрами к перспективным накопителям энергии выделяют рост энергоемкости и безопасности.

Одним из перспективных направлений, способствующих улучшению характеристик накопителей энергии, является наноструктурирование электродного материала. Наноструктуры, такие как наноструктурированные пористые углеродные материалы, металлы и металлические оксиды, способны значительно увеличить площадь поверхности и улучшить электропроводность, что, в свою очередь, ведет к увеличению емкости и скорости зарядки/разрядки устройств. Еще одним фактором уменьшения эффективности накопителей энергии является технология изготовления. Перспективно вместо толсто пленочной технологии, которая реализуют лишь 10-15% от теоретически возможной энергоемкости, использовать тонкопленочную технологию изготовления накопителей энергии, что позволяет на порядки снизить внутреннее сопротивление ячеек, с целью снижения тепловыделения и увеличению удельной энергоемкости и безопасности эксплуатации, которые являются наиболее важными требованиями к ячейкам.

В данной работе было исследовано влияние наноструктурирования электродного материала по тонкопленочной технологии на характеристики суперконденсатора. Наноструктурирование проводилось в высокопористом углеродном волокне «Бусофит» ($1200 \text{ м}^2/\text{г}$) с тонким слоем титана толщиной 5 мкм. Наноструктурирование проводилось наночастицами серебра размером 5-10 нм в электроимпульсной установке, позволяющей одновременно получать наночастицы различных металлов и осаждать их внутрь пористых материалов.

Было выявлено, что наноструктурирование наночастицами серебра по тонкопленочной технологии позволило повысить время разряда суперконденсаторов в 2 раза, снизить внутренне сопротивление ESR на 70% и увеличить удельную энергоемкость на 32%. При сравнении с аналогами изготовленный суперконденсатор превосходит их по удельной емкости на 37%, а по рабочему напряжению на 62%. Разработанная тонкопленочная электроимпульсная технология позволяет наносить наноструктуры и других металлов и сплавов и имеет высокую перспективу также при разработке катодных материалов химических источников тока.

Робота була виконана в рамках державного завдання
Мінобрнауки Росії, номер теми FSFF-2023-0008.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Кукушкин Дмитрій Юрьевич – кандидат технічних наук, (ORCID: 0000-0002-6968-1495), доцент кафедри 1204, Московський авіаційний інститут, Волоколамське шосе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: Skyline34@nxt.ru

Слепцов Володимир Володимирович - доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0002-1171-336X), завідуючий кафедрою 1204, Московський авіаційний інститут, Волоколамське шосе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: 08fraktal@inbox.ru

Дітелева Анна Олегівна – кандидат технічних наук, (ORCID:0000-0002-0819-6517), доцент кафедри 1204, Московський авіаційний інститут, Волоколамське шосе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: anna.diteleva@mail.ru

Цыркoв Роман Александрович – асистент кафедри 1204, Московський авіаційний інститут, Волоколамське шосе, д. 4, г. Москва, 125993, e-mail: roma1992@yandex.ru