

# Установка и режимы получения волокон полимеров с углеродными нанотрубками методом электроспиннинга

А.М. Низаметдинов<sup>1</sup>, С.В. Васин<sup>1</sup>, В.А. Сергеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Гончарова, 48, Ульяновск, Россия, 432071

<sup>2</sup>Ульяновский государственный технический университет, Северный Венец, 32, Ульяновск, Россия, 432027

## Аннотация

Представлено описание экспериментальной установки для получения полимерных волокон методом электроспиннинга. Определены режимы получения тонких полимерных волокон из водного раствора поливинилового спирта (ПВС) без многостенных углеродных нанотрубок (МУНТ) и с добавлением МУНТ. Выявлены различия в режимах образования волокон в зависимости от концентрации и вида функционализации МУНТ в полимерной матрице. Показана возможность формирования этим методом с использованием наборного вращающегося коллектора пленок из пространственно ориентированных нанокompозитных полимерных волокон.

## Ключевые слова

многостенные углеродные нанотрубки, поливиниловый спирт, электроспиннинг, нанокompозитные полимеры

## 1. Введение

Добавление даже небольшого количества углеродных нанотрубок (УНТ) в полимеры сильно изменяет функциональные свойства полимерных структур [1], причем эти изменения зависят от ориентации УНТ в полимере. Для управления ориентацией УНТ в полимерной матрице применяется ряд методов: Ленгмюра-Блоджетт, воздействия электрическим или/и магнитным полем и др. Один из перспективных методов – метод электроспиннинга – состоит в получении тонких волокон нанокompозита в результате действия электростатических сил на струю раствора. Этим методом можно получать волокна диаметром от 5 до 800 нм. Материалы на основе таких волокон находят применение в биосенсорах, нанофотонике, коллоидной литографии, в качестве пористых мембран [2].

## 2. Описание экспериментальной установки

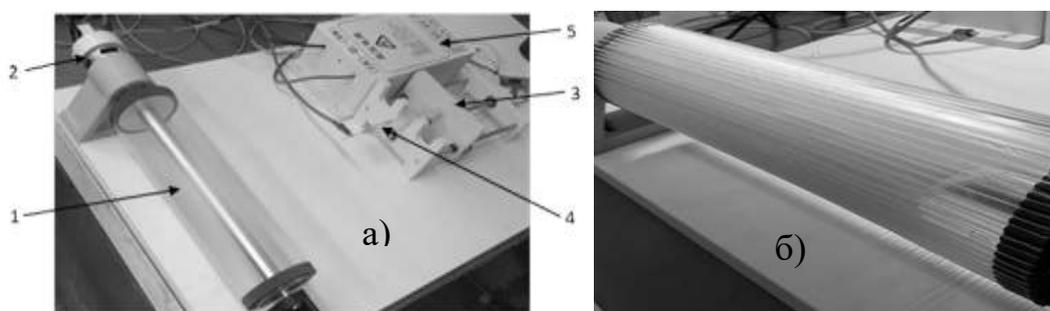


Рисунок 1: Внешний вид установки электроспиннинга (а) и наборного коллектора (б)

Для апробации метода собрана лабораторная установка [3] (рисунок 1 (а)). Установка содержит сменный (сплошной или наборный) цилиндрический коллектор 1, вращаемый

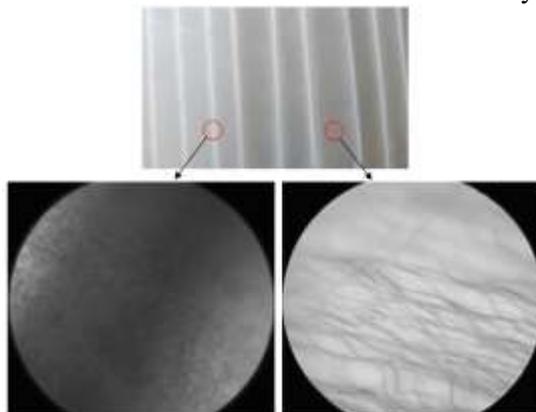
двигателем 2 со скоростью от 30 до 2000 об/мин. Раствор полимера подается дозирующим устройством 3 из шприца 4 емкостью от 2 до 30 мл с регулируемой скоростью подачи от 0,01 до 100 мл/ч. Напряжение между концом иглы шприца и коллектором задается источником питания 5 с выходным напряжением от 2 до 28 кВ. Во всех экспериментах использовалась игла 23G.

### 3. Режимы образования волокон чистого ПВС и ПВС с МУНТ

Апробация установки проводилась на водном растворе поливинилового спирта (ПВС). Эксперимент показал, что устойчивое образование волокон наблюдалось при концентрации ПВС в растворе более 35-40% при напряжении 12-15 кВ, расстоянии от кончика иглы до коллектора  $L_{ик} = 200$  мм и скорости подачи 1 мл/ч. Диаметр волокон при этом составляет 3 – 4 мкм. С уменьшением концентрации ПВС напряженность поля необходимо увеличивать либо путем увеличения напряжения, либо путем уменьшения расстояния от коллектора до иглы. При концентрации ПВС меньше 11% раствор расщепляется на микрокапли.

Добавление в 40% водный раствор ПВС даже небольшого количества МУНТ (менее 1% от массы ПВС) приводит к увеличению напряжения волокнообразования. При уменьшении содержания ПВС в водном растворе и сохранении доли МУНТ напряжение волокнообразования снижается, но диаметр образующихся волокон имеет большой разброс.

При работе со сплошным коллектором ориентации полимерных волокон не наблюдается, поскольку длина волокна превышает длину окружности коллектора. При использовании наборного коллектора (рисунок 1(б)) в области между проводниками наблюдается ориентация волокон перпендикулярно проводникам, в то время как в области над проводниками наблюдается хаотичное наслоение волокон аналогичное сплошному коллектору (рисунок 2).



**Рисунок 2:** Микрофотографии структуры материала, формирующегося в разных частях наборного коллектора: над проводниками (а) и между проводниками (б) коллектора

### 4. Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Ульяновской области, номер проекта № 19-42-730011.

### 5. Литература

- [1] Васин, С.В. Особенности токопереноса в пленках поливинилового спирта с включениями многостенных углеродных нанотрубок на подложках Si / С.В. Васин, М.С. Ефимов, В.А. Сергеев // Письма в ЖТФ. – 2020. – № 12. – С. 26-29.
- [2] Ding, B. *Electrospinning: Nanofabrication and Applications* / B. Ding, X. Wang, J. Yu. – William Andrew Publishing, 2019. – 832 p.

- [3] Низаметдинов, А.М. Формирование и исследование массивов упорядоченных волокон композитов полимер–углеродные нанотрубки / М.С. Ефимов, А.М. Низаметдинов, С.В. Васин // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники. Материалы 23-й Всероссийской молодежной научной конференции, 2020. – С. 188-189.