Исследование особенностей процесса формирования термитного материала Al-CuO_x-CNT методом электрофоретического осаждения

Выполнил: студент гр. ИТС-45
Павел Королев
Научный руководитель: ассистент института ПМТ,
к.т.н. Лебедев Е. А.

Введение

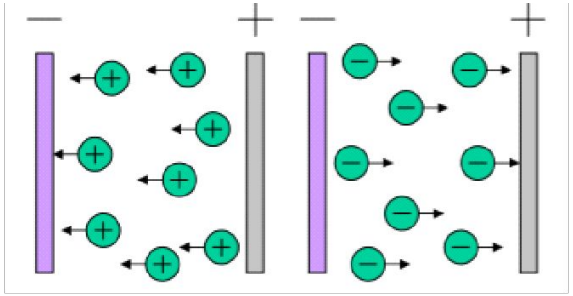
- Термитные материалы активно исследуются в микроэлектронике.
- В последнее время термитные материалы стали получать электрофоретическим способом.
- Процесс электрофореза не требует дорогостоящего или уникального оборудования.
- Разработка данного метода является актуальной задачей

Цели и задачи

- Цель:
- создание нанотермитного материала на основе нанопорошков Al-CuO_x электрофоретическим методом для использования в качестве инициатора вторичных реакций.

- Задачи:
- изготовление титановых пластин для последующего осаждения на них термитного материала
- исследование влияния некоторых параметров на проведение процесса осаждения
- анализ морфологии состава при помощи РЭМ-исследований
- исследование влияния углеродных нанотрубок на скорость распространения реакции горения материала

Преимущества электрофореза



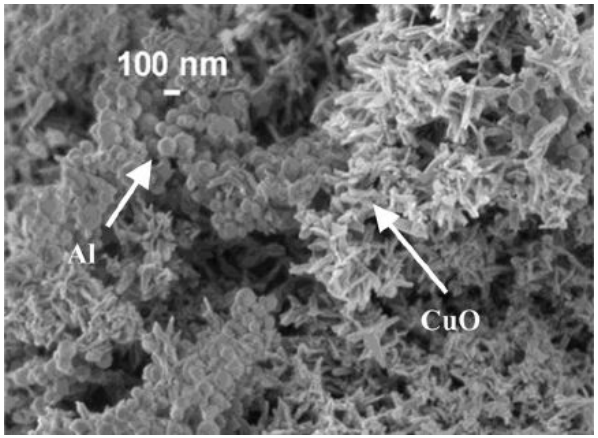
а б

Рисунок 1.1 – Схематическая иллюстрация процесса электрофоретического осаждения: а) катодный процесс; б) анодный процесс

- Процесс можно использовать с подложками разной формы;
- возможность изменения некоторых параметров во время проведения процесса;
- прост в исполнении и не требует дорогостоящего оборудования.

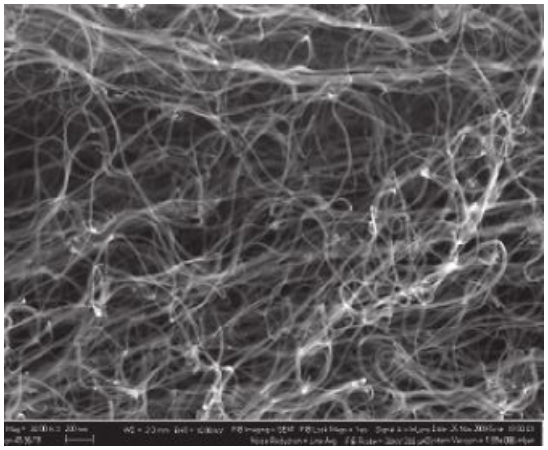
Выбор материала Al-CuO_x-CNT

Al-CuO_x



- Высокая скорость распространения фронта реакции
- Не возникает проблем с инициацией воспламенения

Углеродные нанотрубки (CNT)



- При добавлении нанотрубок скорость снижается
- Обеспечивают механическую прочность осаждаемого слоя

Технологическая часть

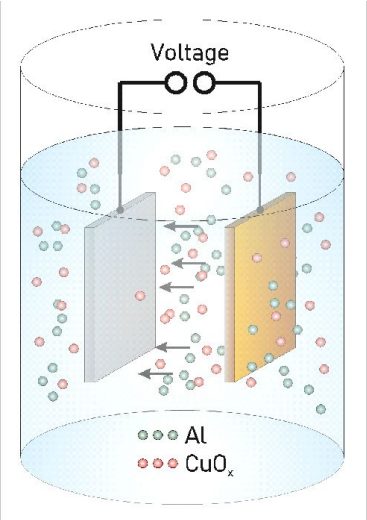
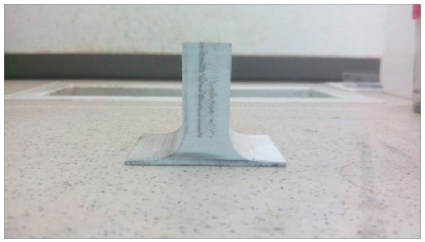
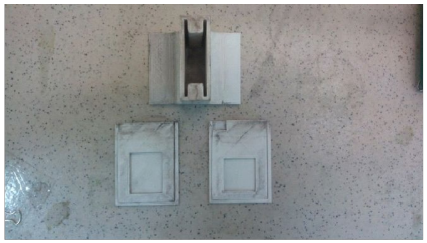


Рисунок 2 – Электрофоретическая ячейка

Рисунок 4 – Высокоточные измерительные весы «MettlerToledo» XP 205



а



б

Рисунок 3 – Фото стакана, распечатанного на 3D-принтере: а) вид сбоку; б) вид сверху и держатели для электродов

Рисунок 5 – Фото разбиения частиц компонентов суспензии при помощи ультразвука

Экспериментальное исследование процесса осаждения с составом Al-CuO_x

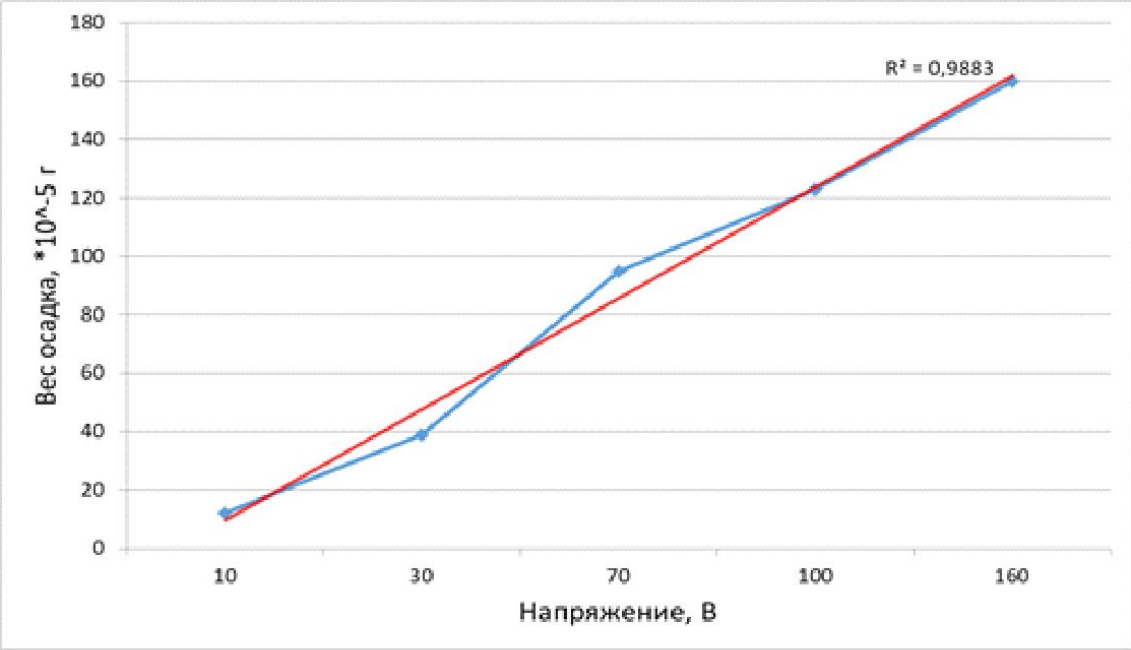


Рисунок 6 – Зависимость веса осаждаемого материала Al-CuO_x от напряжения

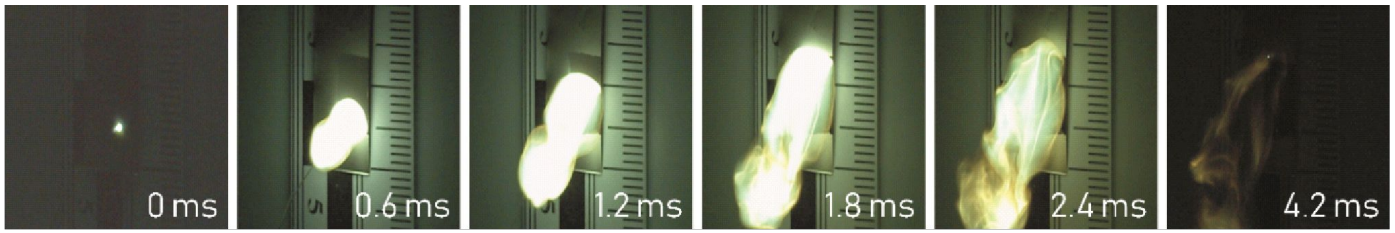
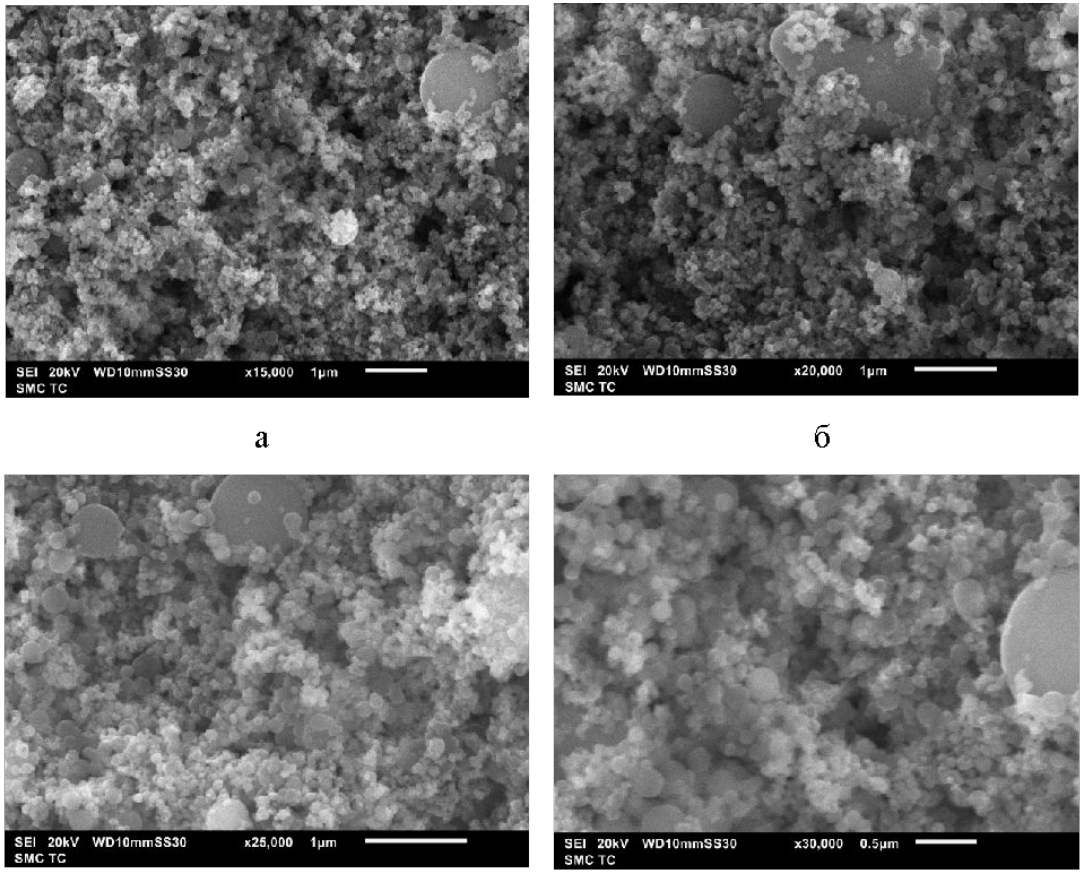


Рисунок 7 – Раскадровка видеосъемки горения термитного материала Al-CuO_x

Экспериментальное исследование процесса осаждения с составом Al-CuO_x-CNT (образец 69)

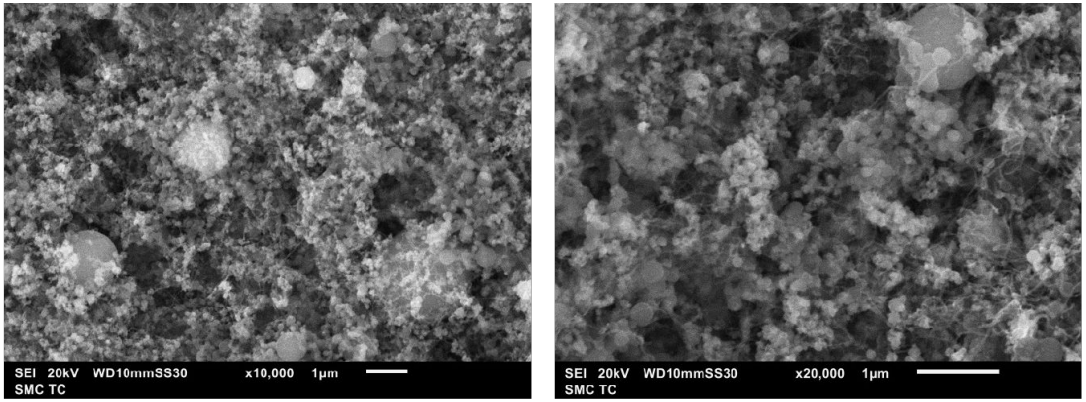


а б в г

Рисунок 8 – РЭМ-изображения образца под номером 69 Al-CuO_x-CNT в разных масштабах

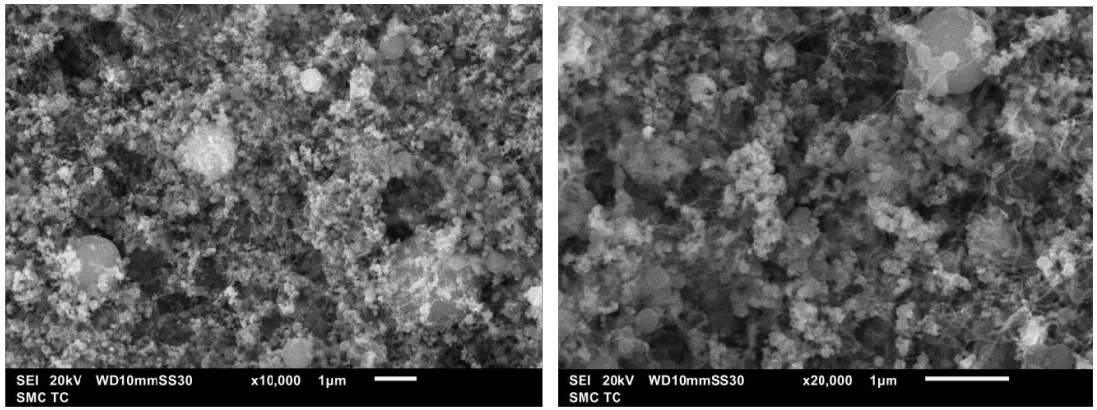
- Al – 25 мг
- CuO_x – 50 мг
- CNT – 1 мг
- U=70 В
- Осаждение длилось 2 цикла по 4 минуты

Экспериментальное исследование процесса осаждения с составом Al-CuO_x-CNT (образцы 112 и 117)



а б

Рисунок 9 – РЭМ-изображения образца под номером 112 Al-CuO_x-CNT в разных масштабах



а б

Рисунок 10 – РЭМ-изображения образца под номером 117 Al-CuO_x-CNT в разных масштабах

- Образец 112:
- Al – 15 мг
- CuO_x – 30 мг
- CNT – 1 мг
- U=100 В
- Осаждение длилось 10 минут одним циклом

- Образец 117:
- Al – 15 мг
- CuO_x – 30 мг
- CNT – 1 мг
- U=150 В
- Осаждение длилось 6 циклов по 5 минут

Элементный анализ осажденного материала

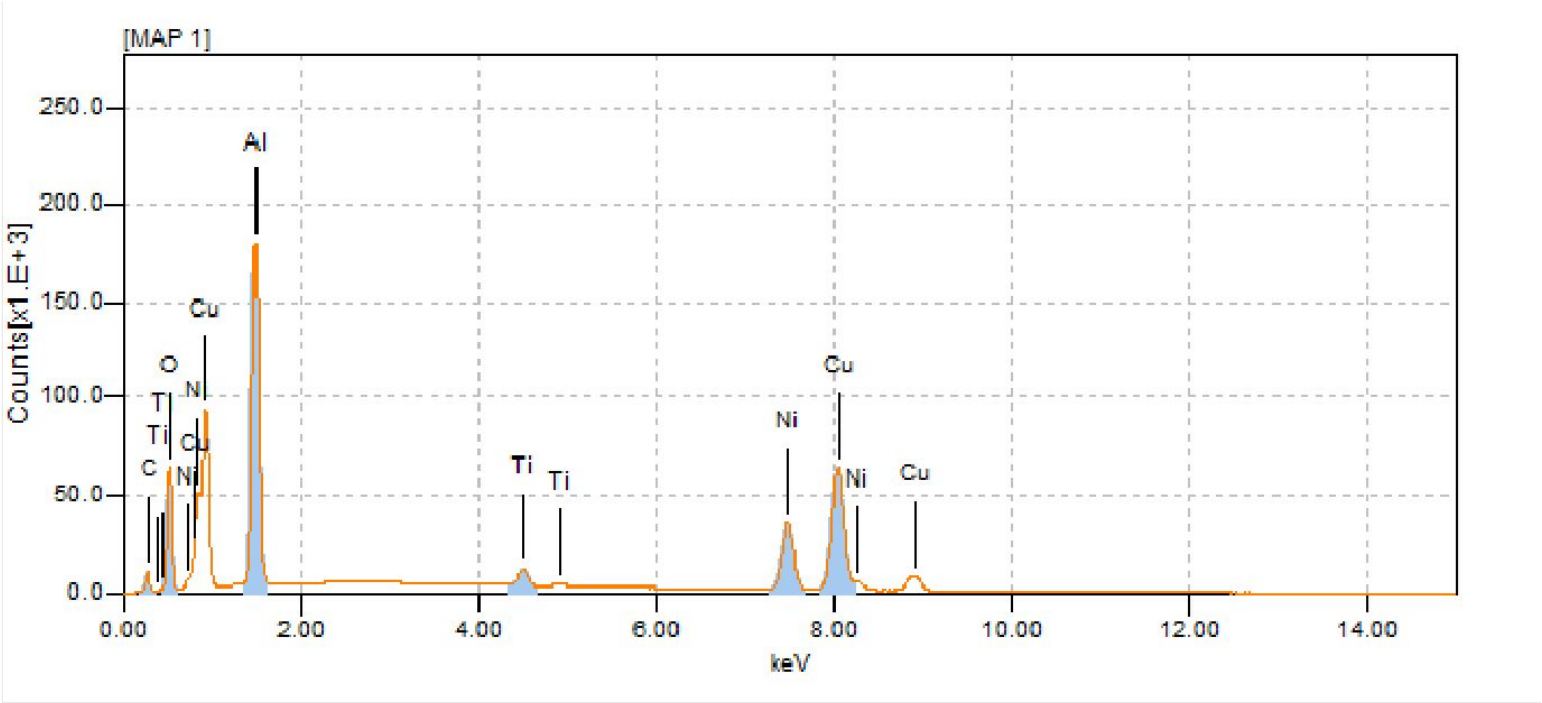
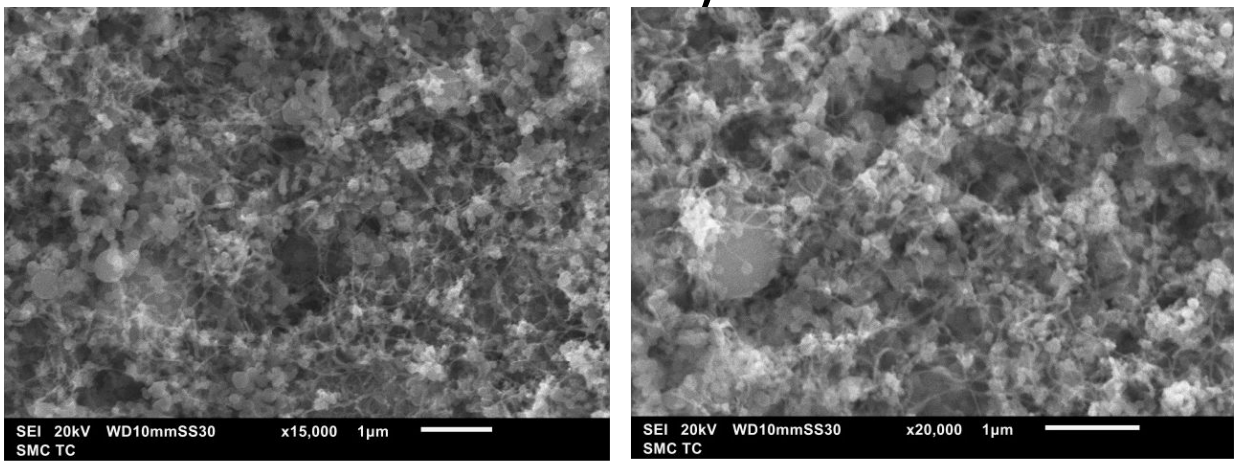


Рисунок 11 – Элементный анализ термитного материала Al-CuO_x-CNT образца 117

Экспериментальное исследование процесса осаждения с составом Al-CuO_x-CNT (образец 128)



а б

Рисунок 12 – РЭМ-изображения образца под номером 128 Al-CuO_x-CNT в разных масштабах

- Al – 15 мг
- CuO_x – 15 мг
- CNT – 1 мг
- U=150 В
- Осаждение длилось 10 минут одним циклом

Элементный анализ осажденного материала

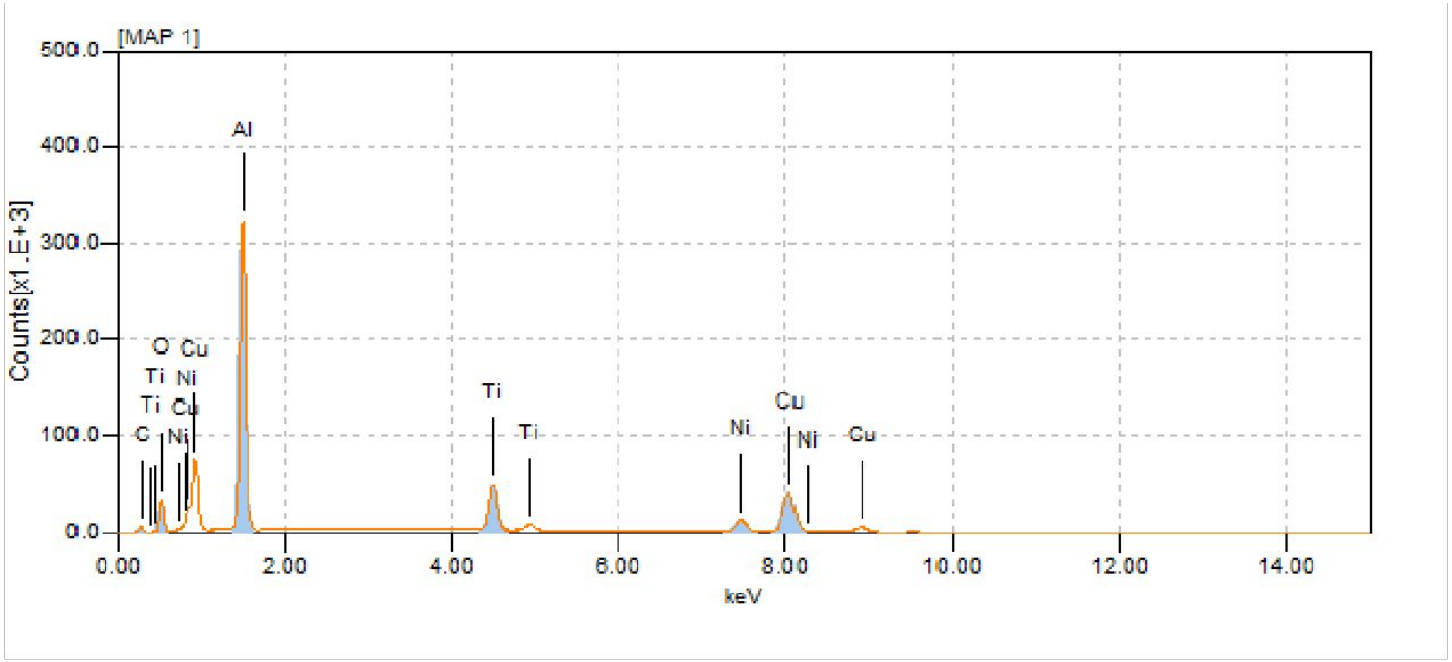
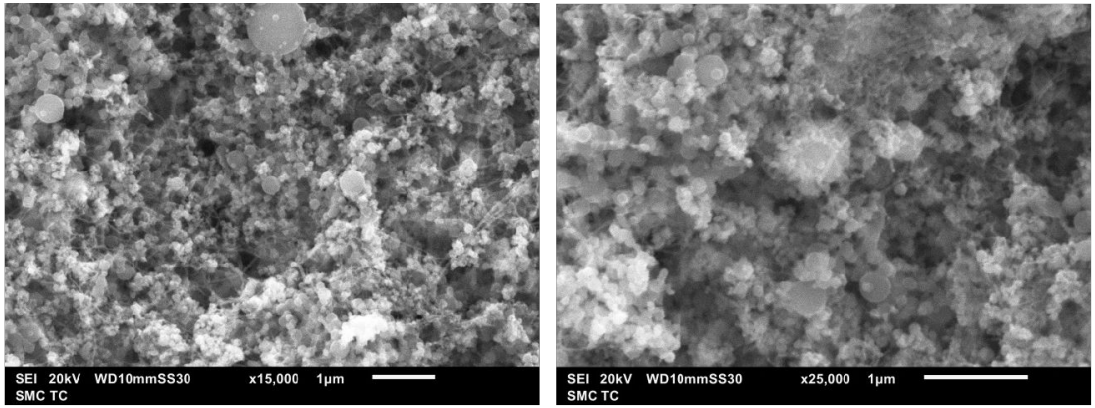


Рисунок 13 – Элементный анализ термитного материала Al-CuO_x-CNT образца под номером 128

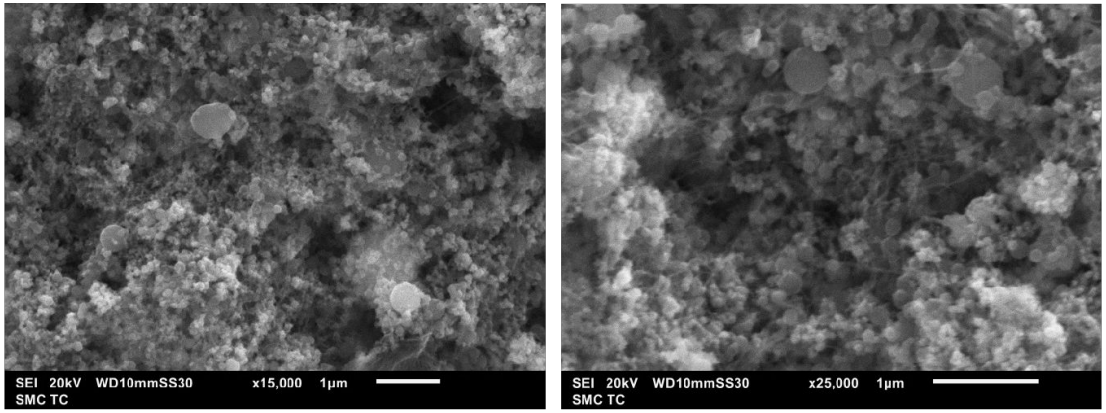
Экспериментальное исследование процесса осаждения с составом Al-CuO_x-CNT (образцы 135 и 136)



а б

Рисунок 14 – РЭМ-изображения образца под номером 135 Al-CuO_x-CNT в разных масштабах

- Образец 135:
- Al – 12,5 мг
- CuO_x – 17,5 мг
- CNT – 1 мг
- U=150 В
- Осаждение длилось 20 минут одним циклом

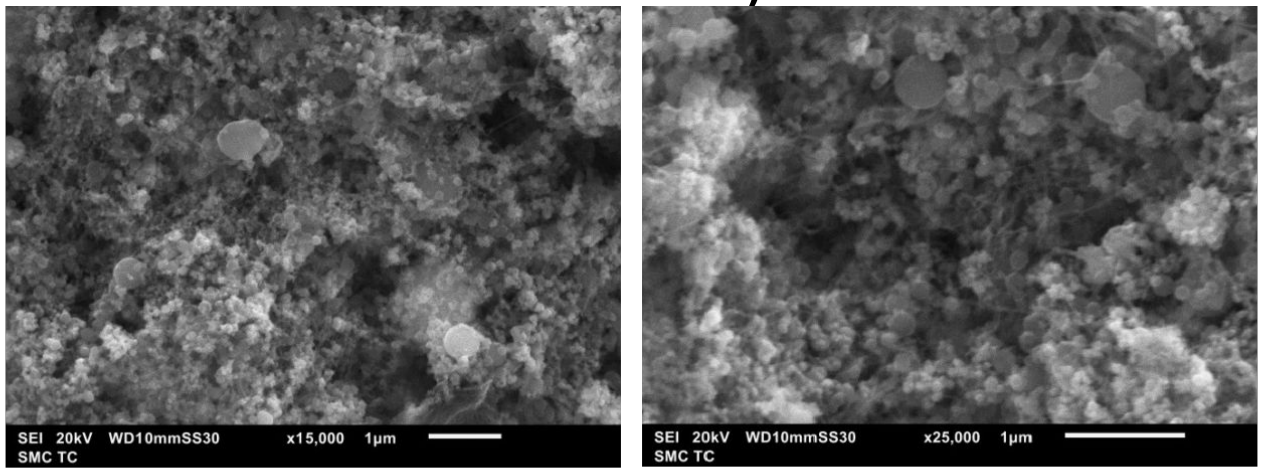


а б

Рисунок 15 – РЭМ-изображения образца под номером 136 Al-CuO_x-CNT в разных масштабах

- Образец 136:
- Al – 12,5 мг
- CuO_x – 17,5 мг
- CNT – 1 мг
- U=150 В
- Осаждение длилось 50 минут одним циклом

Экспериментальное исследование процесса осаждения с составом Al-CuO_x-CNT (образец 141)



а б

Рисунок 16 – РЭМ-изображения образца под номером 141 Al-CuO_x-CNT в разных масштабах

- Al – 12,5 мг
- CuO_x – 17,5 мг
- CNT – 1 мг
- U=150 В
- Осаждение длилось 5 циклов по 10 минут с заменой суспензии после каждого раза

Сравнительная таблица

Таблица 1 – Сравнительная характеристика образцов

№ образца	Al, мг	CuO_x, мг	U, В	Время, с	Кол-во циклов
69	25	50	70	4	2
112	15	30	100	10	1
117	15	30	150	5	6
128	15	15	150	10	1
135	12,5	17,5	150	20	1
136	12,5	17,5	150	50	1
141	12,5	17,5	150	10	5

Раскадровка горения термитного материала

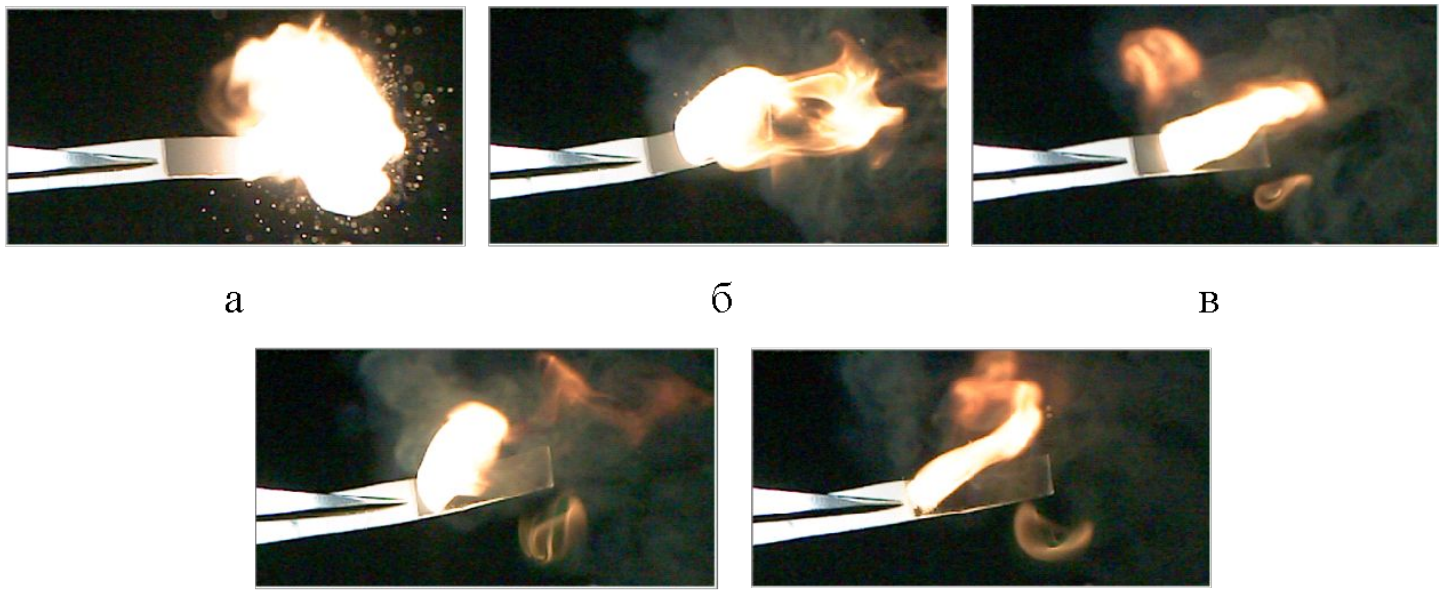


Рисунок 17 – Раскадровка видеосъемки горения термитного материала Al-CuO_x-CNT со скоростью распространения фронта реакции: а) 0 м/с; б) 0,08 м/с; в) 0,16 м/с; г) 0,23 м/с; д) 0,31 м/с

Выводы

- Таким образом, экспериментальным путем было доказано предположение о том, что при добавлении углеродных нанотрубок скорость распространения фронта реакции снижается (4,2 м/с без нанотрубок и 0,31 м/с при их добавлении).
- Экспериментальным путем получен термитный материал Al-CuOx-CNT с массой, равной 11,1 мг.
- Данный образец можно использовать в качестве инициатора вторичных реакций.

Спасибо за внимание!