Кремлев Кирилл Владимирович. Синтез, строение и свойства новых гибридных материалов на основе углеродных нанотрубок, модифицированных металлосодержащими покрытиями: диссертация ... кандидата Химических наук: 02.00.04 / Кремлев Кирилл Владимирович;[Место защиты: ФГБОУ ВО Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева], 2017.- 175 с.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ

НАУКИ ИНСТИТУТ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

ИМ. Г.А. РАЗУВАЕВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

КРЕМЛЕВ КИРИЛЛ ВЛАДИМИРОВИЧ

СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА НОВЫХ ГИБРИДНЫХ

МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК,

МОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИМИ

ПОКРЫТИЯМИ

02.00.04 - физическая химия

(химические науки)

диссертация на соискание ученой степени

кандидата химических наук

Научный руководитель: д.х.н., Кетков Сергей Юлиевич

Нижний Новгород - 2017

Список сокращений 4

Введение 5

1. Литературный обзор 11

1.1. Углеродные нанотрубки как основа гибридных материалов 11

1.2. Наноразмерные покрытия и гибридные материалы, содержащие Re, Al,

Cu, Ti 18

1.2.1. Наночастицы и покрытия рения 19

1.2.2. Наноразмерные покрытия на основе алюминия 21

1.2.3. Медьсодержащие наночастицы и покрытия 25

1.2.4. Гибридные материалы на основе карбида титана 28

1.3. Методы синтеза углеродных нанотрубок и гибридных материалов на

их основе 32

1.3.1. Способы получения углеродных нанотрубок 34

1.3.2. Ex situ методы синтеза гибридных материалов 36

1.3.3. In situ методы синтеза гибридных материалов 38

1.3.4. MOCVD технология получения гибридных материалов 46

1.4. Методы анализа углеродных нанотрубок и гибридных материалов на

их основе 49

1.5. Свойства и потенциальные области практического применения

гибридных материалов на основе многостенных углеродных нанотрубок 55

2. Экспериментальная часть 68

2.1. Оборудование и материалы 68

2.2. Методика проведения исследований 69

2.2.1. Синтез МУНТ методом MOCVD 69

2.2.2. Осаждение наночастиц рения на поверхности МУНТ 72

2.2.3. Получение гибридного материала Al/МУНТ 72

2.2.4. Синтез гибридного материала на основе МУНТ, декорированных

медьсодержащими наночастицами 74

2.2.5. Модификация поверхности МУНТ наноразмерными покрытиями

карбида титана 76

2.2.6. Модифицирование акрилатной клеевой композиции с помощью

МУНТ и новых гибридных материалов на их основе 78

2.2.7. Проведение реакции восстановления тетрахлорида германия водородом при использовании в качестве катализатора гибридных

материалов на основе МУНТ 80

2.2.8. Термогравиметрический анализ 81

2.2.9. Рентгенофазовый анализ 81

2.2.10. Электронная микроскопия 82

3. Результаты и их обсуждение 85

3.1. Синтез МУНТ методом MOCVD с использованием в качестве прекурсоров ферроцена и толуола 85

3.2. Закономерности осаждения наночастиц рения на поверхности

МУНТ

3.3. Исследование процессов получения гибридных материалов Al/МУНТ 113

3.4. Закономерности декорирования МУНТ медьсодержащими

наночастицами 122

3.5. Исследование процессов модификации поверхности МУНТ наноразмерными покрытиями карбида титана 128

3.6. Применение синтезированных гибридных материалов в качестве наполнителей в клеевую композицию и в качестве катализаторов

реакции восстановления тетрахлорида германия водородом 142

Заключение 146

Список работ автора по теме диссертации 149

Список литературы 155

**Заключение**

1. Получены новые гибридные материалы на основе многостенных углеродных нанотрубок, поверхность которых модифицирована наноразмерными рений-, алюминий-, медь- и титан-содержащими покрытиями. Выявлены особенности их состава, структуры и свойств.
2. Оптимизированы условия синтеза МУНТ с использованием в качестве прекурсоров ферроцена и толуола в токе аргона при атмосферном давлении, обеспечивающие относительно узкое распределение МУНТ по диаметру.
3. Впервые синтезированы гибридные материалы на основе МУНТ и

осажденных на них металлосодержащих частиц и покрытий: Re/МУНТ, Al/МУНТ, Cu2O/Cu/МУНТ и TiC/МУНТ при использовании в качестве прекурсоров, соответственно, декакарбонилдирения,

триизобутилалюминия, формиата меди и титаноцен дихлорида.

1. Установлены размеры и морфология частиц и покрытий, нанесенных на МУНТ. Найдена зависимость между исходной концентрацией прекурсоров и размерами образующихся наночастиц. Обнаружен бимодальный характер распределения наночастиц рения по размеру в Re/МУНТ. Наночастицы алюминия в гибридном материале Al/МУНТ не имеют кристаллических примесей и равномерно распределены по поверхности МУНТ. Медьсодержащие наночастицы в Си20/Си/МУНТ имеют структуру типа ядро-оболочка, где в качестве ядра выступает Cu, а оболочка состоит из Cu2O. Получены четыре типа титаносодержащих гибридных материалов, в зависимости от начального соотношения прекурсоров - МУНТ, покрытые сплошной пленкой TiC, отростками TiC и вискерами TiC, а также мезокристаллы TiC.
2. Выявлено изменение термоокислительной устойчивости МУНТ при нанесении металлосодержащих частиц и покрытий (уменьшение в случае Re и Cu и увеличение в случае TiC).

Показано, что полученные гибридные материалы перспективны для применения в качестве наполнителей в клеевых композициях и как катализаторы восстановления тетрахлорида германия. Добавление Al/МУНТ или TiC/МУНТ в состав акрилатной клеевой композиции позволяет добиться 5- или 6-кратного увеличения усилия на разрыв между склеиваемыми алюминиевыми пластинами. Катализатор на основе Cu2O/Cu/МУНТ позволяет существенно снизить температуру проведения реакции восстановления тетрахлорида германия водородом при сохранении высокой степени конверсии