

ЗАХИРИДДИН
МУҲАММАД БОБУР
НОМИДАГИ АНДИЖОН
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE
UNIVERSITY NAMED
AFTER ZAKHIRIDDIN
MUKHAMMAD BABUR

ИЛМИЙ ХАБАРНОМА
Физика-математика
Тадқиқотлари
(Махсус сон)

SCIENTIFIC BULLETIN
Physical and
Mathematical Research
(Special Issue)

Андижон
2023 йил

Муассис

Захиридин Мухаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети

**ИЛМИЙ ХАБАРНОМА.
ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА
ТАДҚИҚОТЛАРИ**

Журнал бир йилда 2 марта чоп этилади.

Андижон вилояти ахборот ва оммавий коммуникациялар бошқармаси
томонидан 2019-йил 26 декабря
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:
А.Й.Бобоев

Босишига руҳсат этилди:

27.12.2019.

Қоғоз бичими: 60x81 1/8

Босма табоғи: 13,5

Офсет босма. Офсет қоғози.

Адади: 110 дона.

Баҳоси келишилган нарҳда.

Буюртъя №: 165.

“Муҳаррир” нашриёти манбаа бўлимида чоп этилди.

Тошкент шаҳри, Сўгалли ота кўчаси 7-уй

Таҳририят манзили:

170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129. Телефон: +998911602043.
Факс: (374) 223-88-30

E-mail: adu_xabarnoma@mail.ru Расмий сайт: uzjournals.edu.uz/adu

**Сборник статей международной научно-практической конференции по
«Полупроводниковая опто- и наноэлектроника, альтернативные
источники энергии и их перспективы» Андижан, 12-13 октября 2023 года**

ОГЛАВЛЕНИЕ

С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ

Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe..... 7

**М.Х.АШУРОВ, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР, С.Х.СУЛЕЙМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ,
З.И.КАРИМОВ, Н.Н.НИКИФОРОВА, Ф.А.ИСКАНДАРОВА**

Современные аспекты радиационной деградации твердых тел и биообъектов..... 10

**М.Т.НОРМУРАДОВ, Е.Н. ВЛАСОВА, К.Т.ДОВРАНОВ, Д.А. НОРМУРОДОВ,
Х.Т. ДАВРАНОВ**

Измерение оптических параметров, диэлектрических материалов, созданных низкоэнергетическим ионно-плазменным методом..... 15

Е.С. РЕМБЕЗА, Т.В. СВИСТОВА, Н.Н. КОШЕЛЕВА, М.Б. РАСУЛОВА

Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов..... 24

**О.О. МАМАТКАРИМОВ, В.Х. QUHQAROV, М.А. ERGASHEV, А.А.
ХОЛМИРЗАЕВ**

Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari..... 28

S.Z. ZAINABIDINOV, Н.Ж. MANSUROV, Н.Ю. YUNUSALIEV

Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures..... 34

**Х.Б.АШУРОВ, А.А. ЗАРИПОВ, А.А.РАХИМОВ, У.Ф.БЕРИДЕВ, И.Ж.
АБДИСАИДОВ, М.М.АДИЛОВ**

Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок..... 39

Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, М.М.ШОАБДУРАХИМОВА

Особенности автоколебаний тока в компенсированном кремнии и их применение в электронике..... 46

**Ш.Б.УТАМУРАДОВА, Ж.Ж.ХАМДАМОВ, В.Ф.ГРЕМЕНOK, К.А.ИСМАЙЛОВ,
Х.Ж.МАТЧОНОВ, Х.Ю.УТЕМУРАТОВА**

Комбинационное рассеяние света в монокристаллическом Si, легированного атомами Gd..... 54

N.N. ABDURAZAKOV, R. ALIEV

Power load forecasting using linear regression method of machine learning: Andijan regional case..... 58

И. Н. КАРИМОВ. М. ФОЗИЛЖОНОВ. А.Э.АБДИКАРИМОВ

Вольт-фарадный характеристики SOI FINFET структуры..... 63

О.А. АБДУЛХАЕВ, А.З. РАХМАТОВ

Низковольтные ограничители напряжения на основе структур с эффектом смыкания..... 67

SH.X. YO'LCHIYEV, B.D. G'ULOMOV, J.A. O'RINBOYEV

ZnO va ZnO:Al yurqa plynokalarini sintez qilish va ularni fizik xossalari o'rganish..... 75

**Ш.Т.ХОЖИЕВ, С.Ф.КОВАЛЕНКО, С.Е.МАКСИМОВ, В.М.РОТШТЕЙН,
О.Ф.ТУКФАТУЛЛИН, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР. Ш.К.КУЧКАНОВ**

Кластеры Y_n^+ И $Y_nO_m^+$, распыленные ионной бомбардировкой: эксперимент и теоретические аспекты..... 79

| | |
|--|-----|
| M. RASULOVA | |
| Application of Solution of the Quantum Kinetic Equations for Renewable Energy problem..... | 85 |
| A.А.МИРЗААЛИМОВ, Р.АЛИЕВ, Н.А.МИРЗААЛИМОВ | |
| разработка высокоеффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств..... | 89 |
| D.G. КНАЖИВАЕВ, B.Ya. YAVIDOV | |
| On correlation of T_c and Cu-O _{apex} distance in single layered cuprates..... | 97 |
| А. АБДУЛВАХИДОВ, С.ОТАЖНОВ, Р.ЭРГАШЕВ | |
| Фоточувствительность солнечных элементов гетероструктуры p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe с глубокими примесными уровнями..... | 102 |
| М.К. КУРБАНОВ, К.У. ОТАБАЕВА, Д.У. ХУДОЙНАЗАРОВА | |
| Распыление пленок льда при бомбардировке ионами Ar+..... | 107 |
| Н.О. QO'CHQAROV S.B. FAZLIIDDINOV B.B.BURXONJANOV | |
| Simmetrik bo'lgan silikon diodning statik parametrlarini hisoblash p-n-uch nuqtali zaryadlangan nuqsonlarning δ-qatlami o'tish..... | 113 |
| N.Yu. SHARIBAYEV, B.M. BAXROMOV R.M. JALALOV A.A. YUSUFJONOV | |
| Study of electrophysical properties of semiconductor materials based on lead-selenium..... | 120 |
| Ш.К.КУЧКАНОВ, Х.Б.АШУРОВ, Б.М.АБДУРАХМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ, О. Э. КИМИЗБАЕВА, Ш.А.МАХМУДОВ | |
| О роли структурных дефектов в процессах генерации при нагреве эдс и носителей заряда в эпитаксиальных плёночных кремниевых p-n-структурах..... | 125 |
| S.Z. ZAYNABIDINOV, I.M. SOLIYEV, SH.K. AKBAROV | |
| Kremniy monokristallarida elektro noaktiv nikel va kislorod atomlarining o'zaro tasirlashuvi. | 128 |
| М.А.МУЙДИНОВА, G.J. MAMATOVA | |
| Yarimo'tkazgich plastinalar sirti va p-n strukturalarning optik xususiyatlari va ularni takomillashtirish usullari..... | 132 |
| L.O.OLIMOV, I.I. ANARBOYEV | |
| Kremniy granulalari asosida termoelektrik material samaradorligini oshirish mexanizimi..... | 136 |

Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок

Ашурев Х.Б, Зарипов А.А, Рахимов А.А, Беридев У.Ф, Абдисаидов И.Ж, Адилов М.М.

Институт Ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз, Узбекистан, г.Ташкент 100125, Дурман йули-33

Аннотация. В данной работе представлены методы синтеза нанокатализаторов для получения углеродных нанотрубок. Также представлены результаты электронно-лучевого (EB-PVD) и химического осаждения из паровой фазы (CVD). Показано, что на поверхности подложки SiO_2/Si получен равномерно осажденный слой никеля без инородных включений и с наноразмерным распределением. В разработанной установке CVD одностенные нанотрубки были синтезированы с использованием Ni-катализатора при температуре 500°C, что эффективно исключает переход от одностенных к многостенным УНТ. Представлены данные, полученные методами EB-PVD и CVD, достоверность которых подтверждена различными спектроскопическими методами анализа.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, никелевые катализаторы, электронно-лучевое испарение, температура, химическое осаждение из паровой фазы.

I. Введение. Углеродные нанотрубки (УНТ), благодаря своим уникальным свойствам, таким как: прочность, доступность, гидрофильность, бактерицидность и простота получения, широко используются во многих отраслях современной науки и техники [1]. Для создания нанотрубки необходимо создать основу из нанокатализатора [2]. Основы со слоем нанокатализатора широко используются не только для получения УНТ [3], но и для современных технологий, основанных на разработке наноструктурированных материалов. В частности, тонкая пленка никеля широко используется в технологиях разработки феррожидкостей, в декоративных покрытиях, в антикоррозионных покрытиях [4], нанотехнологиях [5], системах солнечного теплообмена [6]. Лучше всего в качестве катализаторов роста углеродных нанотрубок зарекомендовали себя никель и его сплавы. Такая катализитическая активность никеля связана с его электронной структурой [7].

Однако, получение УНТ с помощью нанокатализатора никеля производится при относительно больших температурах, что, в свою очередь, приводит к ухудшению качества и снижению скорости роста [8]. Причем, при высоких температурах УНТ частично трансформируются из одностенных в многостенные [9]. Решив проблему трансформации, авторы [10] смогли синтезировать одностенные УНТ, однако, используемые при выращивании УНТ наночастицы никеля, полученные при высоких температурах, начали проявлять плохую катализитическую активность. Кроме того при исследовании адгезии частиц Ni-катализатора к Si-подложке было замечено, что процесс роста УНТ связан с режимом синтеза [11]. Однако, процесс адгезии островков наночастиц, образовавшихся после первичной обработки, к простой и пористой кремниевой подложке различен, и на простой кремниевой подложке образовались частицы нанокатализатора большого размера [12].

Как видно из приведенного выше анализа, получение слоя катализатора, свободного от посторонних включений и с наноразмерным распределением, а также синтез УНТ методом химического осаждения из паровой фазы (CVD) из-за сложностей, связанных с высокой температурой получения, по-прежнему остается актуальной проблемой. В данной статье решение этой актуальной проблемы было осуществлено с использованием метода электронно-лучевого осаждения из паровой фазы (EB-PVD), а также метода низкотемпературного CVD.

II. Методика эксперимента. Устройство состоит из электронной системы испарения СЭБ-06 с внешним напряжением до 10 кВ, током электронной эмиссии до 600 мА и мощностью 6 кВт. Оно также имеет такие компоненты, как медный тигель с водяным

охлаждением, держатель основания, нагреватель и вакуумная камера (рис. 1). В камере имеется возможность создавать вакуум 10^{-8} Тор с помощью турбомолекулярного насоса.

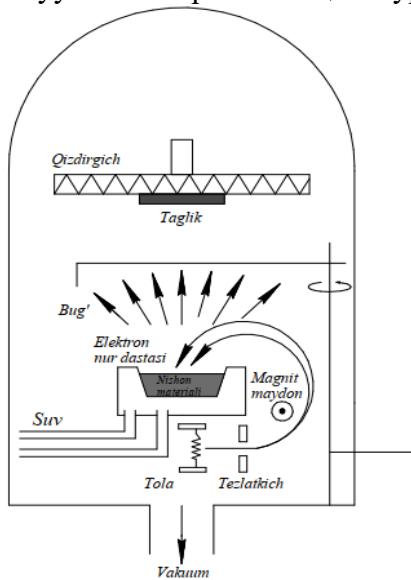


Рис.1. Схематическое изображение устройства для выращивания тонких слоев методом EB-PVD.

Подготовка образца. Для выращивания тонкого слоя никелевого катализатора была взята кремниевая подложка n-типа (111) толщиной 376 мкм и размером 1x2 см. Для очистки поверхностного слоя кремниевой подложки от различных органических соединений ее сначала выдерживали в ванне с раствором ацетона $((\text{CH}_3)_2\text{CO})$ и метанола (CH_3OH) при температуре 55°C в течение 15 минут, затем промывали в деионизированной воде и сушили в атмосфере азота. Для формирования оксидного слоя на кремниевой основе кварцевую трубку помещали в печь и выдерживали при температуре 1000°C в течение двух часов. Образующийся на подложке оксидный слой препятствует диффузии атомов никеля к кремниевой подложке. После вышеуказанных процессов подложка готова к нанесению никелевого нанокатализатора методом EB-PVD.

EB-PVD выращивание никеля. Никель чистотой 99% был сначала расплавлен в медном водоохлаждаемом тигле в камере EB-PVD. Пластина Si(111) помещалась на базовый держатель на расстоянии 40 см от мишени. Возможен нагрев основания непосредственно до температуры 1000°C . Процесс выращивания слоя с тонкойnanoструктурой проводился в течение 10 с без изменения тока электронной эмиссии 50 мА, уровня вакуума в камере 10^{-6} Тор и температуры подложки от 400°C . Затем образец был взят на исследование.

Фазовое состояние полученного тонкого слоя анализировали с помощью рентгеновской дифрактограммы (XRD). Морфологию поверхности слоя изучали с помощью атомно-силового микроскопа (ACM). Структурный анализ определяли с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM).

Разработана новая установка для синтеза углеродных нанотрубок методом CVD, позволяющая последовательно получать наночастицы металлического никеля и синтезировать углеродные нанотрубки при низких температурах (рис. 2).

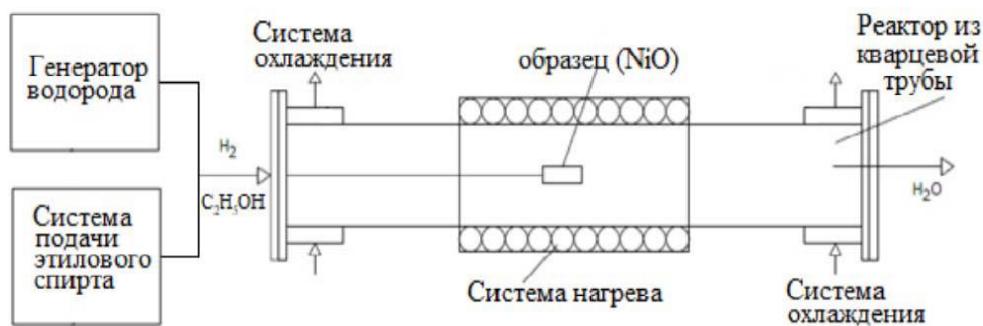


Рис. 2. Установка для синтеза нанотрубок углерода с помощью CVD при низких температурах.

Установка состоит из следующих узлов: кварцевого трубчатого реактора, системы нагрева, системы охлаждения, генератора водорода, системы подачи этилового спирта и держателя образца. Кварцевый трубчатый реактор имеют длину 1000 мм с диаметром 100 мм. Система нагрева реактора плотно прикреплена к реактору и может регулироваться от комнатной температуры до 1000°C. Температура реактора измеряется с помощью вольфрам-рениевой термопары. Термопара и образцы закреплены на держателе из молибдена и расположены в середине кварцевого реактора.

Чтобы запустить процесс восстановления оксида никеля в описанном выше реакторе, наночастицы NiO массой 1 г вставляются в держатель. Потом газообразный водород подается в рабочую зону реактора с помощью водородного генератора «ЕАС».

Процесс синтеза углеродной нанотрубки также осуществляется в реакторе, при этом используются пары этилового спирта, которые образуются в особом объеме. Контроль и равномерная подача паров этанола в реактор осуществляется на ротаметре РМ-А-0,25Г УЗ.

Исследования образцов проводили с использованием спектроскопии комбинационного рассеяния на спектрометре Via Raman «Renishaw» при возбуждении линиями RL785 Class 3В лазера с длиной волны излучения 785 нм.

III. Экспериментальные результаты и обсуждение.

Ниже в тексте представлены результаты формирования тонкого слоя никеля на подложке SiO_2/Si толщиной 60 нм методом EB-PVD. На рисунках 3а и 3б ниже показано ACM-изображение слоя никелевого катализатора. ACM-визуализацию проводили при комнатной температуре в контактном режиме.

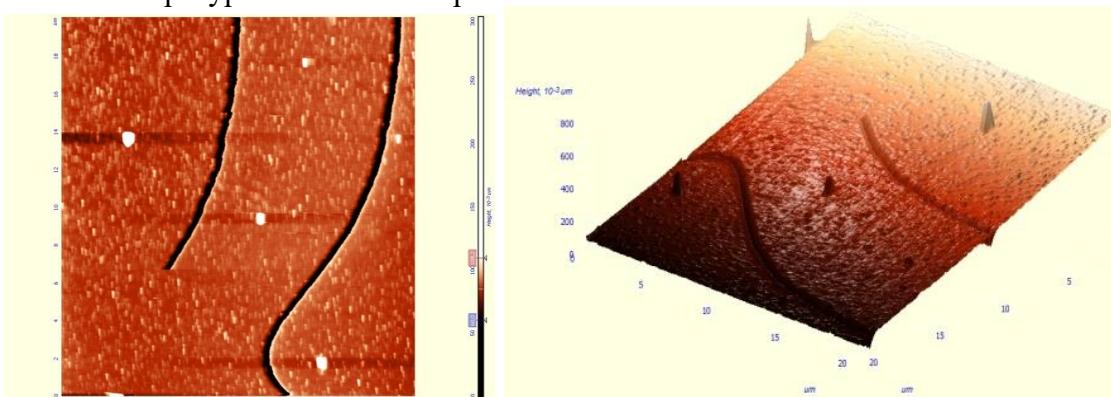


Рис. 3 а, б. Двумерное (а) и трехмерное (б) изображения тонкого слоя никеля, нанесенного на подложку SiO_2/Si методом EB-PVD, полученные под ACM-микроскопом.

На рис.3а и 3б на поверхности слоя под действием силы 7 мкН видны два стержнеобразных профиля линий. Также на поверхности можно увидеть белые включения размером примерно 1-3 мкм. На трехмерном изображении слоя можно заметить, что входы имеют пирамидальную форму, поверхность неровная. Среднее значение шероховатости поверхности составляет $R=2,2$ нм, и это может иметь разные значения в зависимости от размера измеряемой площади поверхности.

Используя метод EB-PVD, на изображении, полученном с помощью АСМ микроскопа, можно увидеть тонкий слой никеля, нанесенный на подложку SiO_2/Si , что показывает, что этот метод может создать однородный слой на поверхности.

Ниже на рис. 4 приведено СЭМ-изображение, которое было получено для сравнения поверхности полученного тонкого слоя никеля и слоя оксида кремния на подложке. На рис. 4, где показано изображение слоя никеля, видны белые точки, которые представляют собой ионородные включения.

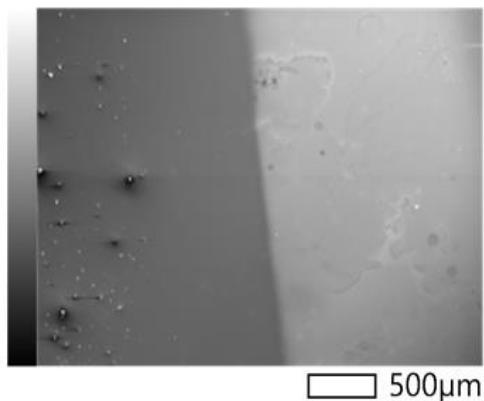


Рис 4. СЭМ-изображение слоя никелевого катализатора.

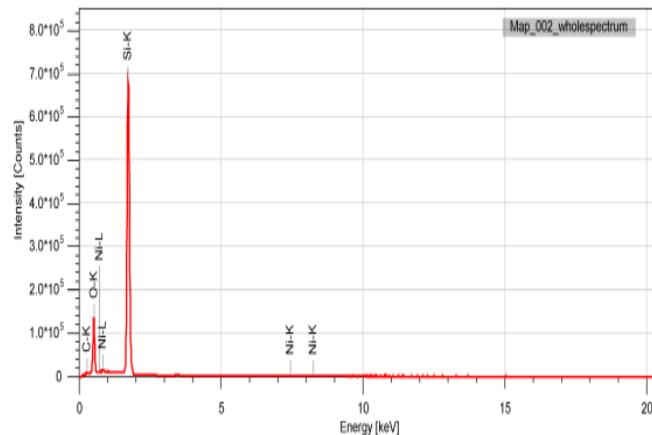


Рис. 5. EDS спектр слоя никелевого катализатора.

Видно, что на черном фоне рис. 4 образовался тонкий слой никеля. Анализ состава этого верхнего слоя представлен на рис. 5. Профиль спектра показывает наличие в слое большого количества кремния и кислорода и небольшого количества никеля. Количество Si составляет 72%, количество O — 24%, количество Ni — 4%. Известно, что направленный свет для ЭДС-анализа проникает глубже поверхностного слоя подложки и дает информацию о составе достигшей его части. Поэтому пик кремния и кислорода значительно выше пика никеля. Отсюда можно понять, что атомы никеля образуют очень тонкий слой. Это подтвердило выводы, полученные по результатам СЭМ-изображения, о тонкости слоя. Анализируя результаты, полученные в данной статье, было доказано, что методом EB-PVD можно получить слой катализатора без посторонних включений и с наноразмерным распределением.

Для закрепления результатов, полученных выше методом EB-PVD, мы провели метод CVD на установке для синтеза углеродных нанотрубок. (рис. 2). Прежде чем начинать CVD, необходимо провести процесс центрифугирования образцов [13]. На поверхности (рис. 2) подложек из кремния (а), диоксида кремния (б) и сапфировой (с) были выращены углеродные нанотрубки (УНТ).

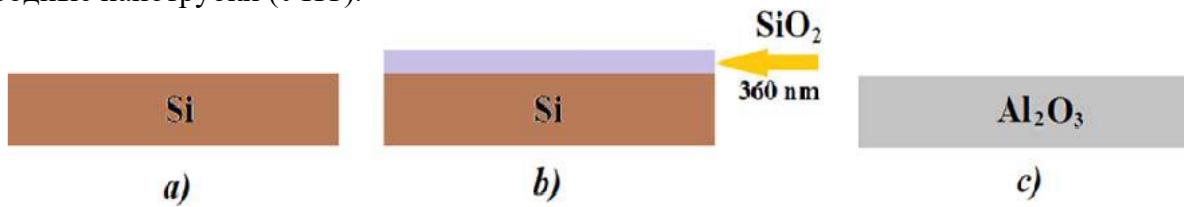


Рис 6. Схематическое изображение подложек образцов, на которых выращены УНТ.

Затем на поверхность этих подложек осаждается гидроксид никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$ термической сушкой. Потом все образцы выкладывают в лабораторную электропечь модели SNOL-8,2/1100 для кальцинации в течение двух часов при 400°C. После процесса кальцинации на поверхности подложек создается тонкий слой NiO . Для того чтобы получить нанокатализаторы Ni на полученных образцах, необходимо восстановить NiO с

водородом. Процесс восстановления является одноэтапным, химическая реакция происходит следующим образом:



Полученные образцы исследовали на рамановском спектрометре Via Renishaw с дифракционной решеткой с периодом 1200 линий/мм и регистрировали в штатном детекторе Renishaw CCD Camera. В частности, была исследована зависимость интенсивности выхода пиков УНТ от его частоты появления в рамановской спектрометрии (рис. 7). С помощью режима радиального расширения и сжатия нанотрубки (RBM) в рамановской спектроскопии определяются одностенные УНТ.

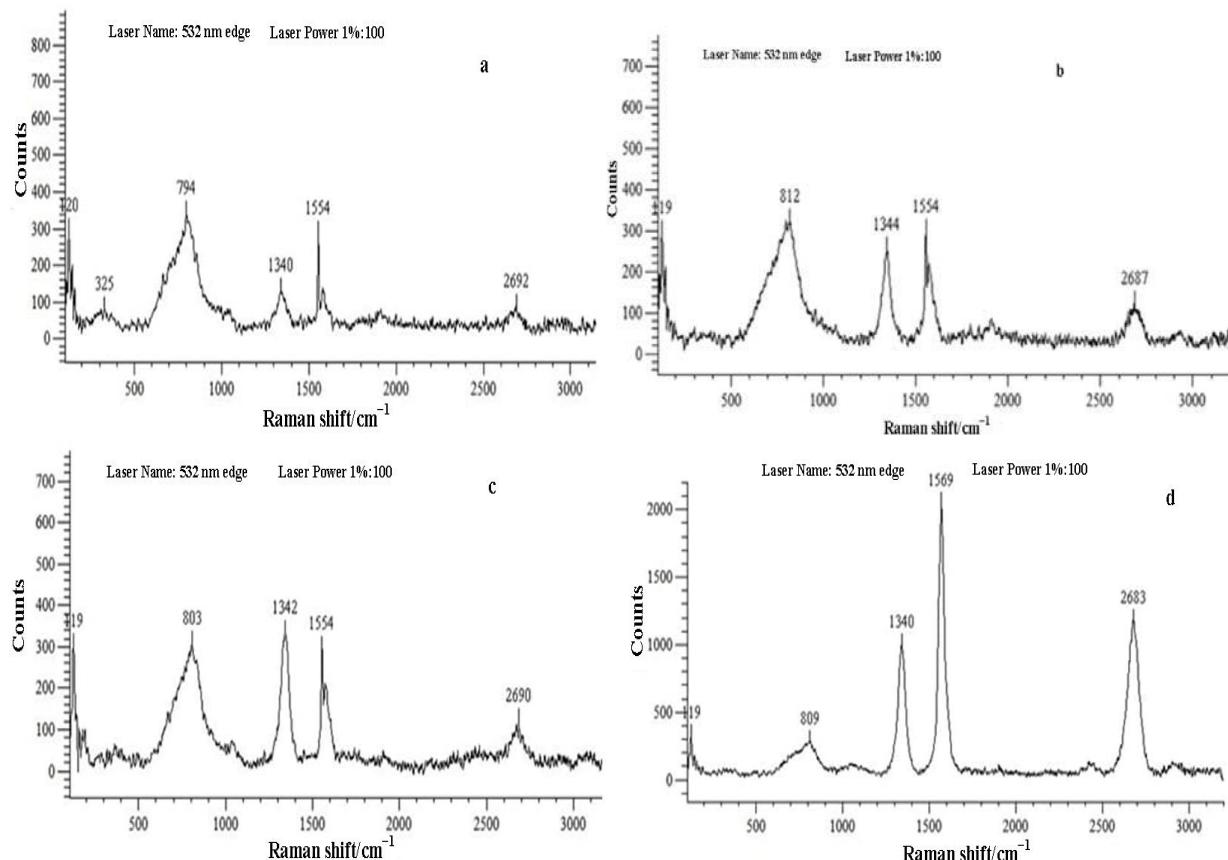


Рисунок 7. Зависимость интенсивности выхода пиков УНТ от его частоты появления на: сапфировой подложке (a), SiO_2/Si подложке (b), Si подложке (c), в виде порошка (d).

Пик RBM появляется только в одностенных УНТ, в интервале с частотой $50\div350 \text{ см}^{-1}$. Пик RBM обратно пропорционален диаметру нанотрубки и определяется по формуле (2) [14].

$$\omega_{\text{RBM}} = A/(dt) + B \quad (2)$$

здесь ω_{RBM} – частота колебания, A и B – постоянные величины, dt – диаметр УНТ.

Также пики D, G и G' описывают деформацию, дефекты кристаллической решетки нанотрубки и взаимодействие с окружающими материалами. По деформационным, легирующим и изотопным характеристикам используются пики G (1584 см^{-1}) и G' ($2600\div2800 \text{ см}^{-1}$), для дефектов используется D пик, ($1300\div1400 \text{ см}^{-1}$). Полоса G представляет собой G (1584 см^{-1}) и G' ($2600\div2800 \text{ см}^{-1}$), для дефектов используется D пик ($1300\div1400 \text{ см}^{-1}$). Полоса G представляет собой моду растяжения связей в плоскости связей C-C в гексагональной решетке, пик комбинационного рассеяния света которой появляется при 1585 см^{-1} . Дефекты в структуре нанотрубок изменяют свойства материалов и создают интересные структуры на основе углеродных нанотрубок. Наличие дефектов в структуре sp₂-связей, связанных с графеном, активирует новые моды комбинационного рассеяния.

Наиболее заметным пиком, вызванным дефектом, является так называемая D-полоса, появляющаяся при 1350 см^{-1} [15].

Все 4 характеристики одностенных УНТ можно увидеть в спектрах комбинационного рассеяния (рис. 7a-d), а рамановские спектры одностенных УНТ можно увидеть при возбуждении зеленым (532 нм) лазерным излучением. Длина волны лазерного излучения зависит от интенсивности. Интенсивность увеличивается при использовании красного (785 нм) лазера [16]. В частности, частота RBM наблюдается только в одностенных УНТ. С учетом полученных результатов частота RBM составляет 119 см^{-1} . Имея этот результат, мы можем сказать, что диаметр одностенных УНТ, синтезированных по формуле (1), составляет около $\sim 2 \text{ нм}$. Следовательно, мы можем оценить синтезированные образцы как одностенные УНТ. Пики D, которые характеризуют дефекты в УНТ, показанные на рис. 7a и 7d, равны 1340 см^{-1} . Как видно из рис. 7b и 7c, D пик равен 1344 см^{-1} и 1342 см^{-1} соответственно. Можно заметить, что пик G (рис. 7a-c) в УНТ, который в основном описывает связь и деформацию C-C, равен 1554 см^{-1} . Пик G (рис. 7d) равен 1569 см^{-1} , пик G' (рис. 7a, b, c, d) характеризует легирующие и изотопные характеристики в УНТ, и он соответствует пикам 2692 см^{-1} , 2687 см^{-1} , 2690 см^{-1} и 2683 см^{-1} соответственно. Как известно, качество синтезированных УНТ оценивается по отношению интенсивности пика D (ID) к интенсивности пика G (IG), (ID/IG). Это соотношение оказалось равным 0.5 (рис. 7a, b) до 0.875, до 1.125 на рис. 7c и 0.52 на рис. 7d. Видно, что мы можем лучше оценить качество УНТ, синтезированных с использованием нанокатализаторов, на сапфировой подложке с ориентацией (1012).

Получение при температуре 500°C УНТ диаметром 2 нм с подачей парового этилового спирта со скоростью 60 мл/мин в реактор, на сегодня является хорошим результатом. Например, в [17] были синтезированы УНТ методом однореакторного CVD с использованием кварцевого реактора при температуре 760°C . Однако в этих образцах преобладают наночастицы с большими размерами кристаллитов и большей степенью кристалличности; видимо, это связано с высокой температурой получения УНТ. Аналогично, Абдулраззак и др. [18] тоже синтезировали УНТ при температуре 700°C со скоростью нагрева $4^\circ\text{C}/\text{мин}$. Однако, по Верма и др. [19] синтез УНТ становится стабильней только при температуре 750°C . Это подтверждается работой Ху и др. [20], они утверждают, что гомогенное зародышеобразование, действительно, происходит в газовой фазе при температуре выше 750°C . Такой же температурный режим наблюдается в других видоизмененных методах синтеза, например, Тапа и др. [21] методом плазменно-усиленного CVD получили УНТ в диапазоне температур 650°C – 800°C . Аксак и др. [22] наблюдали образование УНТ со средним радиусом при температуре выше 850°C . Таким образом, синтез одностенных УНТ диаметром 2 нм при температуре 500°C с учетом простоты, разработанной авторами установки показал хороший результат.

IV. Заключение. Система EB-PVD SEB-06 позволила получить на поверхности подложки SiO_2/Si равномерно осажденный слой никеля без инородных включений и с наноразмерным распределением, что подтверждается ACM-рисунком.

В разработанной установке CVD, позволяющей восстанавливать Ni-катализатор из NiO и синтезировать УНТ при низких температурах, были получены одностенные УНТ диаметром 2 нм, что подтверждено данными рамановской спектроскопии. Синтез одностенных нанотрубок с использованием Ni-катализатора при температуре 500°C эффективно исключает переход от одностенных к многостенным УНТ. В целом достоверность данных, полученных методами EB-PVD и CVD, подтверждена различными спектроскопическими методами анализа.

Литература

1. Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature* 354 (1991) 56.
2. Yoon, Y. J., Bae, J. C., Baik, H. K., Cho, S., Lee, S. J., Song, K. M., & Myung, N. S. (2002). Growth control of single and multi-walled carbon nanotubes by thin film catalyst
3. Yoon, Y. J., Bae, J. C., Baik, H. K., Cho, S., Lee, S. J., Song, K. M., & Myung, N. S. (2002). Growth control of single and multi-walled carbon nanotubes by thin film catalyst. *Chemical physics letters*, 366(1-2), 109-114
4. Saidin, M. A. R., Aziz, M., & Ismail, A. F. (2009, June). Parametric Studies of Thin Film Nickel Catalyst for the Growth of Carbon Nanotubes. *American Institute of Physics*. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1136, No. 1, pp. 219-223)
5. Hajihoseini, H., Kateb, M., Ingvarsson, S. P., & Gudmundsson, J. T. (2019). Oblique angle deposition of nickel thin films by high-power impulse magnetron sputtering. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 10(1), 1914-1921.
6. Adsten, M., Joerger, R., Järrendahl, K., & Wäckelgård, E. (2000). Optical characterization of industrially sputtered nickel–nickel oxide solar selective surface. *Solar Energy*, 68(4), 325-328
7. Pauleau, Y., Kukielka, S., Gulbinski, W., Ortéga, L., & Dub, S. N. (2006). Structure and physical properties of nickel films deposited by microwave plasma-assisted cathodic sputtering. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 39(13), 2803.
8. Esconjauregui, S., Whelan, C. M., & Maex, K. (2009). The reasons why metals catalyze the nucleation and growth of carbon nanotubes and other carbon nanomorphologies. *Carbon*, 47(3), 659-669
9. M. Ahmad, S.R.P. Silva. *Carbon* 158, 24-44 (2020).
10. S. Ahmad, Y. Liao, A. Hussain, Q. Zhang, E.X. Ding, H. Jiang, & E.I. Kauppinen. *Carbon* 149, 318-327 (2019).
11. K. Guo, H. Li, Z. Yu. *ACS Applied Materials & Interfaces* 10(1), 517-525 (2018).
12. Ramana, C. V., Hussain, O. M., Naidu, B. S., & Reddy, P. J. (1997). Spectroscopic characterization of electron-beam evaporated V2O5 thin films. *Thin Solid Films*, 305(1-2), 219-226.
13. Patterned aligned growth of carbon nanotubes on porous structure templates using chemical vapor deposition methods Lee, W. Y., Liao, T. X., Juang, Z. Y., & Tsai, C. H. (2004). Patterned aligned growth of carbon nanotubes on porous structure templates using chemical vapor deposition methods. *Diamond and related materials*, 13(4-8), 1232-1236.
14. Sh.Ch. Iskandarov, T.K. Turdaliev, U.F. Berdiev, I.J. Abdisaidov, X.B. Ashurov. “Modifikatsiya poverhnosti elektrolov protochnykh akkumulyatorov nanochastitsami oksidov metallov” *Proceedings of the International Conference “New Materials & Heliotecnologies”* 141-143 (2021).
15. L.A. Bokobza, J. Zhang. *Express Polymer Letters* 6(7), (2012).
16. A. Jorio, R. Saito. *Journal of Applied Physics* 129(2), 021102 (2021).
17. S. Costa, E. Borowiak-Palen, M. Kruszynska, A. Bachmatiuk, R.J. Kalenczuk. *Materials Science Poland* 26(2), 433-441 (2008).
18. J.M. Ambriz-Torres, F.G. Granados-Martínez, J. de Jesús Contreras-Navarrete, C.J. Gutiérrez-García, D.L. García-Ruiz, M. de Lourdes Mondragón-Sánchez, L. Domratcheva-Lvova. *Materials Research Express* 5(8), 085008 (2018).
19. F.H. Abdulrazzak, A.M. Abass, A.F. Alkaim, F.H. Hussein. *Neuro Quantology* 18(4), 5 (2020).
20. B. Verma, H. Sewani, C. Balomajumder. *Environmental Science and Pollution Research* 27(12), 14007-14018 (2020).
21. Y. Xu, Y. Ma, Y. Liu, S. Feng, D. He, P. Haggi-Ashtiani, J. Bai. *The Journal of Physical Chemistry C* 122(11), 6437- 6446 (2018).
22. A. Thapa, S. Neupane, R. Guo, K.L. Jungjohann, D. Pete, W. Li. *Diamond and Related Materials* 90, 144–153 (2018).
23. Aksak, M., Kir, S., & Selamet, Y. (2009). Effect of the growth temperature on carbon nanotubes grown by thermal chemical vapor deposition method. *J Optoelectron Adv Mater*