

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

Захириддин 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 декабрда
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:
А.Й.Бобоев

Босишга рухсат этилди:
27.12.2019.

Қоғоз бичими: 60x81 1/8

Босма табоғи: 13,5

Офсет босма. Офсет қоғози.

Адади: 110 дона.

Баҳоси келишилган нархда.

Буюртъа №: 165.

“Мухаррир” 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. XOLMIRZAYEV Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari.....	28
S.Z. ZAINABIDINOV, H.J. MANSUROV, N.YU. 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. ГРЕМЕНОК, 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-фарадные 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 yuqqa plyonkalarini 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.A.МИРЗААЛИМОВ, Р.АЛИЕВ, Н.А.МИРЗААЛИМОВ	
разработка высокоэффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств.....	89
D.G' KHAJIBAEV, B.Ya. YAVIDOV	
On correlation of T_c and Cu-O _{apex} distance in single layered cuprates.....	97
A. АБДУЛВАХИДОВ, С.ОТАЖОНОВ, 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 Ag+.....	107
H.O. QO'CHQAROV S.B. FAZLIDDINOV 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
M.A.MUYDINOVA, 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 granulari asosida termoelektrik material samaradorligini oshirish mexanizimi.....	136

Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок

Ашуров 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]. Лучшее всего в качестве катализаторов роста углеродных нанотрубок зарекомендовали себя никель и его сплавы. Такая каталитическая 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 каталитическую 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.

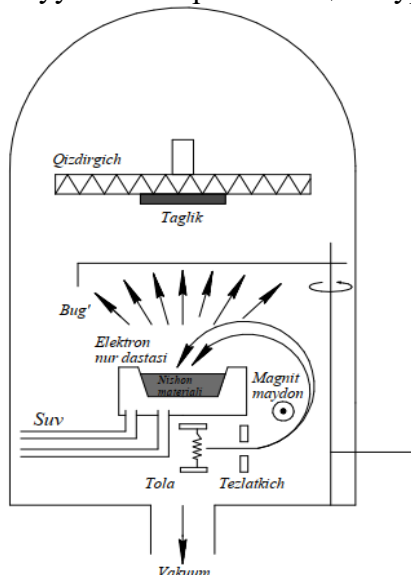


Рис.1. Схематическое изображение устройства для выращивания тонких слоев методом EB-PVD.

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 тонкой наноструктурой 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 (АСМ). 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).

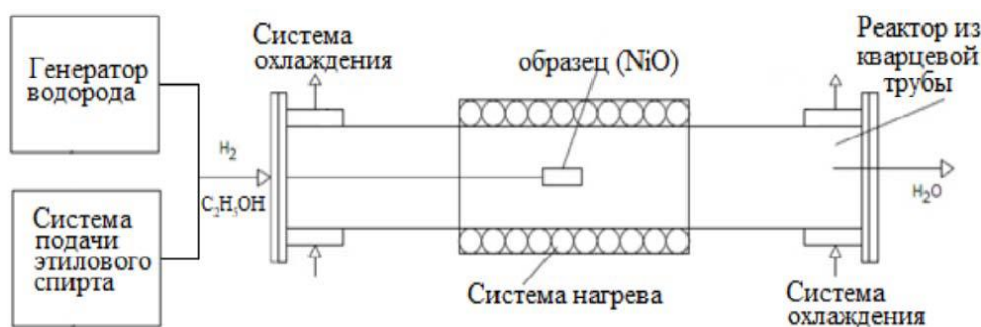


Рис. 2. Установка для синтеза нанотрубок углерода с помощью CVD при низких температурах.

Установка состоит из следующих узлов: кварцевого трубчатого реактора, системы нагрева, системы охлаждения, генератора водорода, системы подачи этилового спирта и держателя образца. Кварцевый трубчатый реактор имеет 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 SiO₂/Si толщиной 60 нм методом EB-PVD. На рисунках 3а и 3б ниже показано АСМ-изображение слоя никелевого катализатора. АСМ-визуализацию проводили при комнатной температуре в контактном режиме.

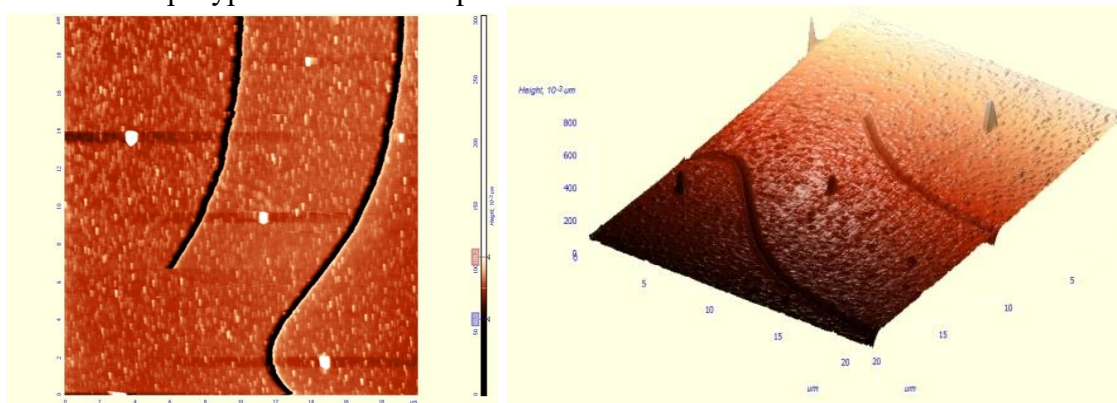


Рис. 3 а, б. Двумерное (а) и трехмерное (б) изображения тонкого слоя никеля, нанесенного на подложку SiO₂/Si методом EB-PVD, полученные под АСМ-микроскопом.

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 инородные включения.

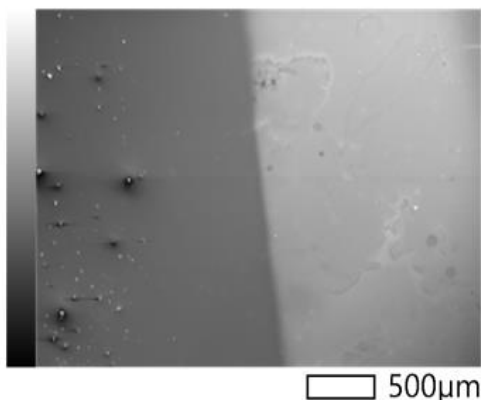


Рис. 4. СЭМ-изображение слоя никелевого катализатора.

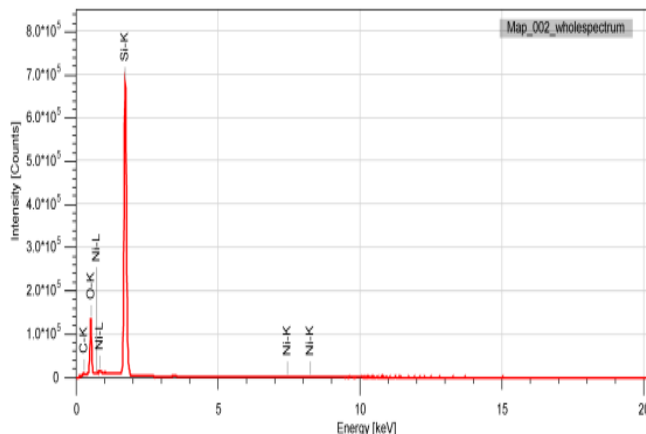


Рис. 5. EDS спектр слоя никелевого катализатора.

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 (b) и сапфировой (с) были выращены углеродные нанотрубки (УНТ).

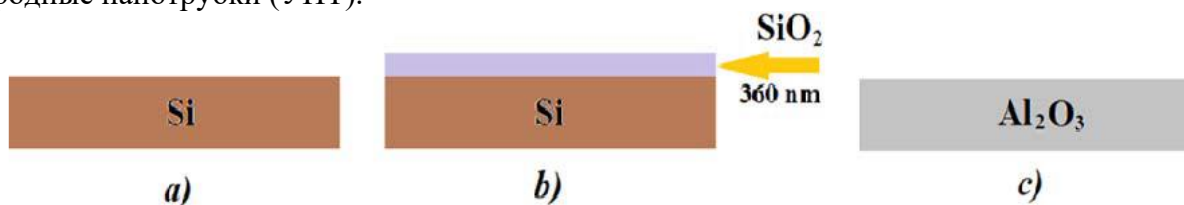


Рис. 6. Схематическое изображение подложек образцов, на которых выращены УНТ.

Затем на поверхность этих подложек осаждается гидроксид никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$ термической сушкой. Потом все образцы выкладываются 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 спектроскопии (рис. 7). С помощью режима радиального расширения и сжатия нанотрубки (RBM) в рамановской спектроскопии определяются одностенные УНТ.

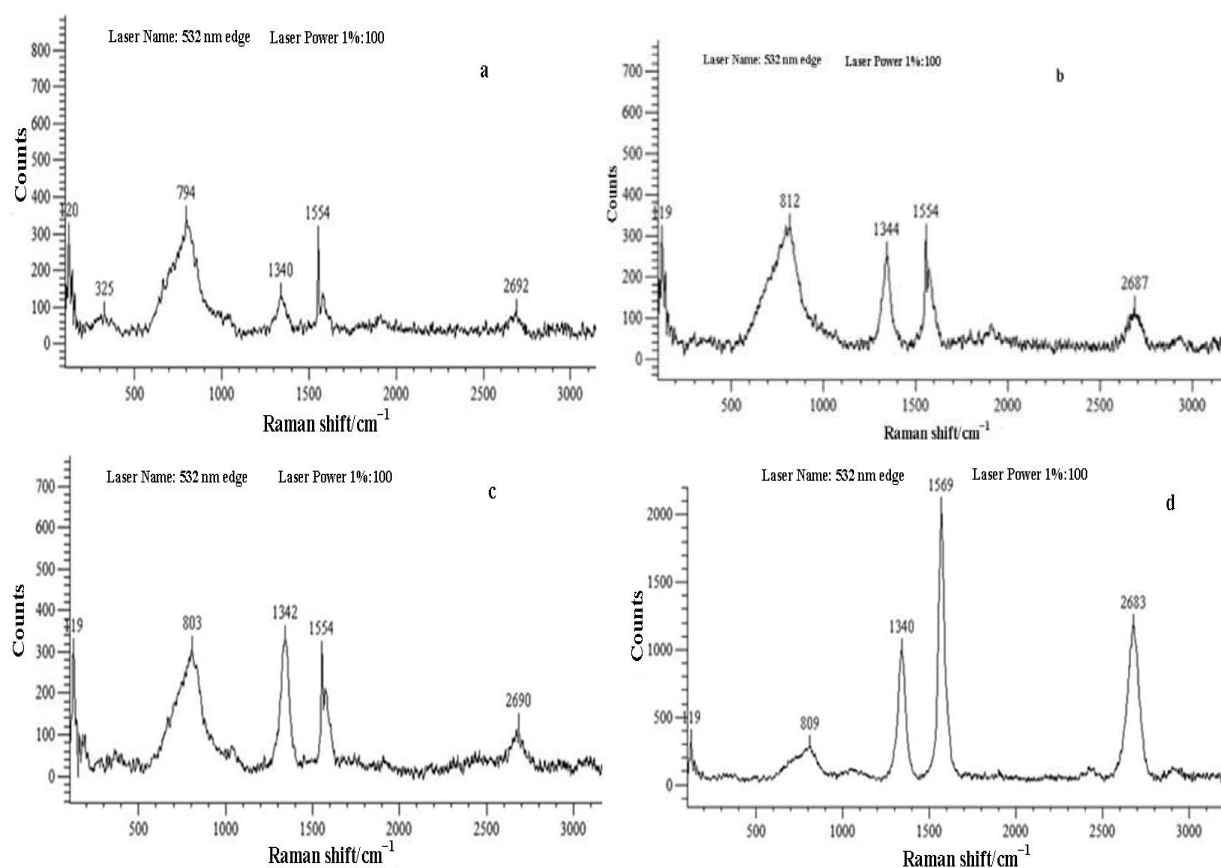


Рисунок 7. Зависимость интенсивности выхода пиков УНТ от его частоты появления на: сапфировой подложке (a), SiO₂/Si подложке (b), Si подложке (c), в виде порошка (d).

Пик RBM появляется только в одностенных УНТ, в интервале с частотой 50÷350 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÷2800 см⁻¹), для дефектов используется D пик, (1300÷1400 см⁻¹). Полоса G представляет собой G (1584 см⁻¹) и G' (2600÷2800 см⁻¹), для дефектов используется D пик (1300÷1400 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 ~ 2 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 одnoreакторного 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 АСМ-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. Ijima 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 cata
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 poverkhnosti elektrodov protochnykh akkumulyatorov nanochastitsami oksidov metallov” *Proceedings of the International Conference “New Materials & Helio technologies”* 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. Haghi-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*