

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра радиотехники и электродинамики
наименование кафедры

**Композитные структуры на основе одностенных углеродных нанотрубок и
подложек оксида кремния**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4071 группы

направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

код и наименование направления

Института физики

наименование факультета

Пряхина Никиты Сергеевича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. ст., уч. зв.

личная подпись, дата

О.Е. Глухова

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

уч. ст., уч. зв.

личная подпись, дата

О.Е. Глухова

инициалы, фамилия

Саратов 2022 г.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большой интерес вызывает исследование нового композитного материала на основе двумерного графена и одномерных углеродных нанотрубок (УНТ) [1,2]. Существует несколько структурных разновидностей этого композитного материала, каждая из которых отличается своими способами соединения УНТ и графена, а также их взаимной ориентацией [3]. Одной из перспективных топологических конфигураций композитного материала графен/УНТ является двумерная пленка с горизонтальной ориентацией нанотрубок, соединенных с графеном через ковалентные связи или через силы Ван-дер-Ваальса [4,5]. Новые углеродные композитные структуры уже продемонстрировали превосходство над отдельными нанотрубками и графеном по электрическим, оптическим и электрохимическим свойствам, предоставляя новые возможности для разработки перспективных приложений на основе этих материалов. Развитие технологии синтеза позволяет получать композитные пленки графен/УНТ как с упорядоченным, так и с неупорядоченным расположением многостенных УНТ (МУНТ) или одностенных УНТ (ОУНТ), соединенных с графеном ковалентными связями [4-6] или через силы Ван-дер-Ваальса [7]. Более того, УНТ могут быть либо расположены на графене [8,9], либо покрыты графеном сверху [10]. Разнообразие архитектуры композитных пленок графен/УНТ определяет их широкий спектр применения. Композитные пленки графен/УНТ с окисленным графеном и УНТ, связанными силами Ван-дер-Ваальса, обладают улучшенными электрохимическими свойствами и могут использоваться в качестве высокоэффективного отрицательного электрода в асимметричных суперконденсаторах.

Объектом исследования в данной работе являются конденсаторные чипы на основе УНТ.

Целью работы является изучение емкостных свойств чипов на основе УНТ.

Задачи, решаемые для достижения поставленной цели:

1. Применение мостового метода для измерения электрофизических параметров изучаемых радиотехнических элементов;
2. Применение импульсного метода для измерения электрофизических параметров изучаемых радиотехнических элементов;
3. Применение метода фазового сдвига для измерения электрофизических параметров изучаемых радиотехнических элементов;
4. Анализ структурных особенностей конденсаторных чипов на основе УНТ;
5. Анализ электрофизических параметров конденсаторных чипов на основе УНТ.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые выявлены закономерности емкостных свойств конденсаторных чипов на основе УНТ. Установлено, что добротность чипов на основе УНТ принимает низкие значения (в среднем порядка 0,067) для всех образцов, кроме 4-ого образца, для которого наблюдается максимальная добротность 56. Также это проявляется в стабильности измерений, то есть при повторных измерениях чип 4 показывает одинаковое значение параметров в отличие от остальных образцов.

Показано что емкость конденсаторных чипов на основе УНТ при повышении частоты начинает уменьшаться. Для большинства чипов образца в интервале частот с 3 кГц до 10 кГц наблюдается плавное падение емкости, в интервале частот с 10 кГц до 100 кГц – резкое падение емкости, в интервале частот с 100 кГц до 1 МГц – снова плавное падение. У двух других чипов наблюдается противоположный характер зависимости от частоты. Так для 3-ого максимум емкости наблюдается на частоте 62 кГц, для 8-ого чипа на 16 кГц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В главе 1 рассказывается о применяемых методах исследования электрофизических характеристик, а также структурных особенностях конденсаторных чипов на основе УНТ, в частности, о мостовом методе.



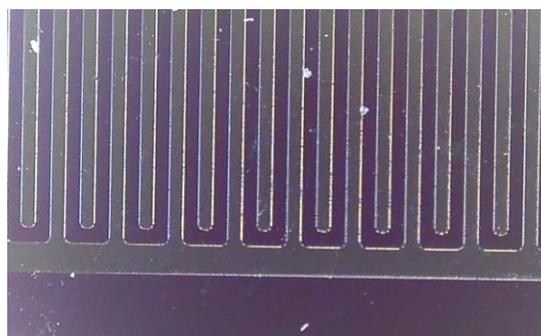
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Структура образца 4 под микроскопом.

На рис. 1а и 1г можно увидеть обкладки конденсаторного чипа в виде дорожек. На рис. 1б видно соединение обкладок с контактной частью конденсаторного чипа. На рис. 1в. показана контактная часть исследуемого чипа.

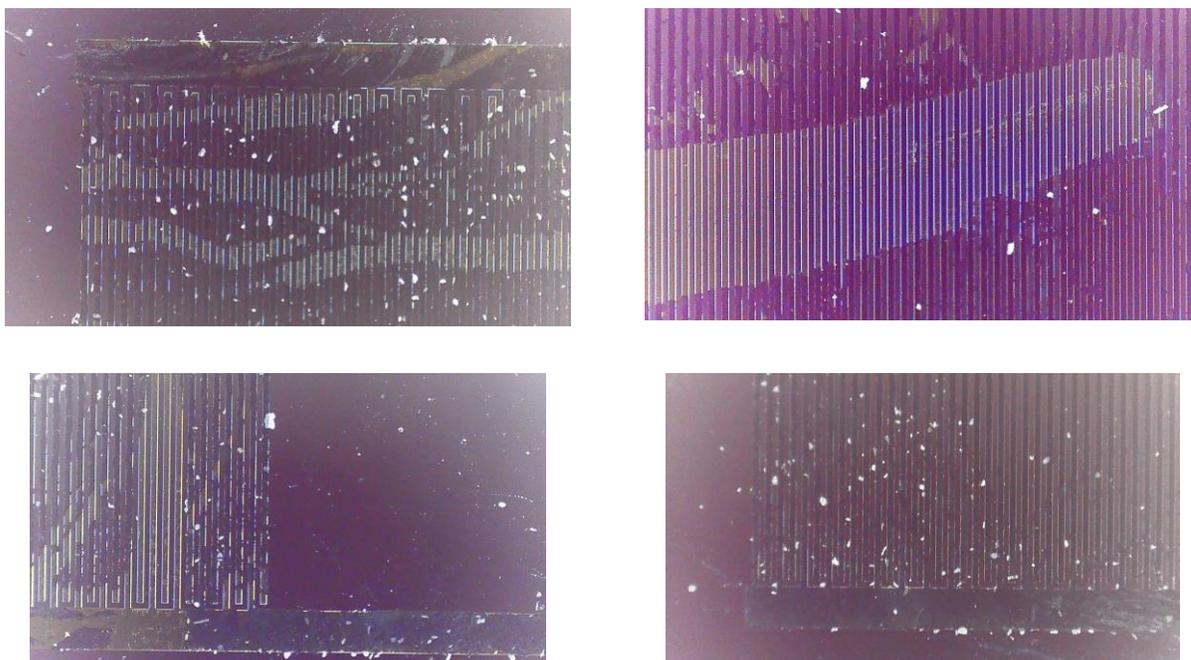


Рис. 2. Строение образца 1 под микроскопом.

На рисунке 2 видно, что слой УНТ поврежден.

Таблица 1. Измерения конденсаторов с помощью измерителя иммитанса на частоте 7,8 кГц.

Номер конденсатора	Ср, нФ	Q	Θ, град	f, кГц
1	1,830	0,585	-30,21	7,8
2	1,853	0,454	-24,30	
3	1,190	2	-63	
4	1,167	7,6	-81,64	
5	0,360	0,103	-5,915	
6	0,7187	0,479	-25,59	
7	0,305	0,025	-1,445	
8	0,220	0,018	-1,019	

9	1,183	0,134	-7,607	
---	-------	-------	--------	--

В таблице 1 приведены электрофизические параметры для разных чипов. Емкость чипов варьируется от 0,220 нФ до 1,853 нФ. При этом при заданной частоте (7,8 кГц) совпадения по емкости наблюдается для чипов 1, 2, 3, 4, что во многом определяется добротностью этих устройств. Так для чипа 4 добротность принимает максимальное значение (7,6). Угол фазового сдвига чипа 4 (-81,64 градусов) приближается к идеальному значению -90 град. Для остальных чипов добротность не превышает значения (2), а также угол сдвига фаз (-63 градусов).

Таблица 2. Измерений конденсаторов с помощью измерителя иммитанса на частоте 1 кГц.

Номер конденсатора	Ср,нФ	Q,	Θ,	f, кГц
1	1,820	0,075	-4,250	1
2	1,870	0,058	-3,354	
3	1,200	0,314	-17,3	
4	1,200	56	-88,98	
5	0,337	0,012	-0,677	
6	0,726	0,062	-3,576	
7	0,140	0,001	-0,083	
8	0,058	0,001	-0,033	
9	1,110	0,016	-0,899	

В таблице 2 приведены электрофизические параметры для разных чипов. Емкость чипов варьируется от 0,058 нФ до 1,870 нФ. При этом при заданной частоте (1 кГц) совпадения по ёмкости наблюдается для чипов 1, 2, 3, 4, что во многом определяется добротностью этих устройств. Так для чипа 4 добротность

принимает максимальное значение (56). Угол фазового сдвига чипа 4 (-88,98 град) приближается к идеальному значению -90 град. Для остальных чипов добротность не превышает значения (0,314) , а также угол сдвига фаз (-17,3 град).

В главе 2 представлены электрофизические характеристики чипов на основе УНТ, при помощи импульсного метода и метода сдвига фаз. Для измерения емкости конденсаторные чипы подключались в интегрирующую RC-цепь. Входной сигнал представлял собой прямоугольный импульс с частотой повторений 1 кГц. Выбор амплитуды сигнала равнялась 0,282 В, что обусловлено ограничениями чипов по мощности. Сопротивление было выбрано постоянным и равным 10.2 кОм. Емкость конденсатора была найдена по формуле $C = \frac{\tau}{R}$. В таблице 3 представлены $V_{ампл}$ – амплитудное напряжение, $V_{эфф}$ – эффективное напряжение, τ – постоянная времени, C – емкость.

Таблица 3. Электрофизические параметры чипов, измеренные импульсным методом.

Номер конденсатора	$V_{ампл}$, mV	$V_{эф}$, mV	τ , мкс	C , нФ
1	66,4	42,4	3,8	0,37
2	33,2	21,2	2	0,196
3	114	72,7	4,2	0,411
4	288	183,74	13,2	1,29
5	112	71,4	2	0,196
6	154	98,2	3,6	0,352
7	41,6	26,5	1,3	0,127
8	39,2	25	1,2	0,117

9	55	35,09	2,5	0,245
---	----	-------	-----	-------

Из таблицы 3 видно, что у образца 4 емкость почти не отличается при измерении мостовым методом и импульсным методом в отличие от остальных образцов. На примере образца 4 была измерена зависимость емкости от частоты методом фазового сдвига, поскольку у данного образца была самая высокая добротность. Емкость была найдена по следующей формуле: $C = \frac{1}{2 * \pi * f * R * \operatorname{tg} \phi}$. В таблице 4 видно, что при увеличении частоты начинает уменьшаться угол сдвига фаз.

Таблица 4. Результаты измерений методом фазового сдвига для образца №4.

f, кГц	φ, град	tg φ	C, нФ
1	86,4	15,8945	0,981
5	61,2	1,8189	1,716
7,8	50,625	1,2185	1,642
15	32,481	0,6366	1,634
20	28,8	0,5497	1,419
30	16,119	0,2889	1,8007
40	14,4	0,2567	1,519
50	10,8	0,1907	1,636
60	8,571	0,1507	1,726
70	7,5	0,1316	1,694
80	5,76	0,1008	1,935
90	5,142	0,0899	1,928
100	5,04	0,0881	1,771
110	4,695	0,0821	1,728
120	4,285	0,0749	1,736

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В бакалаврской работе было проведено исследование емкостных характеристик конденсаторных чипов на основе УНТ.

При решении задачи по применению мостового метода для измерения электрофизических параметров изучаемых радиотехнических элементов были сняты значения емкости с помощью измерителя иммитанса Digital Bridge XJW01. Для измерения с помощью импульсного метода была собрана RC-цепь, в которую подключались исследуемые чипы. При решении задачи по применению метода фазового сдвига для измерения электрофизических параметров изучаемых радиотехнических элементов была собрана RC-цепь, в которую был подключен чип №4. Среди рассмотренных методов измерения емкости данных чипов на УНТ мостовой метод является наиболее точным. Импульсный и фазовый методы применимы только для чипов с величиной добротности не менее 30. Также, при исследовании конденсаторов на УНТ было установлено, что они являются хрупкими и достаточно легко деформируются. В ходе исследования на снижение эффективности чипов могли повлиять деформации слоя УНТ.

При анализе электрофизических параметров конденсаторных чипов на основе УНТ наблюдалось увеличение добротности при повышении частоты с 1 кГц до 7,8 кГц у всех образцов, кроме 4, - для данного образца наблюдалась обратная закономерность. Такая же закономерность была и с углом сдвига фаз. Хотелось бы отметить, что для последующих разработок, нужно защитить слой УНТ от деформаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kim, H.; Kim, J.; Jeong, H.S.; Kim, H.; Lee, H.; Ha, J.M.; Choi, S.M.; Kim, T.H.; Nah, Y.C.; Shin, T.J.; et al. Spontaneous hybrids of graphene and carbon

nanotube arrays at the liquid-gas interface for Li-ion battery anodes. *Chem Commun.* 2018, 54, 5229–5232.

2. Biswas, C.; Lee, Y.H. Graphene versus carbon nanotubes in electronic devices. *Adv. Funct. Mater.* 2011, 21, 3806–3826.

3. Dang, V.T.; Nguyen, D.D.; Cao, T.T.; Le, P.H.; Tran, D.L.; Phan, N.M.; Nguyen, V.C. Recent trends in preparation and application of carbon nanotube–graphene hybrid thin films. *Adv. Nat. Sci. Nanosci. Nanotechnol.* 2016, 7, 033002.

4. Lv, R.; Cruz-Silva, E.; Terrones, M. Building Complex Hybrid Carbon Architectures by Covalent Interconnections: Graphene–Nanotube Hybrids and More. *ACS Nano* 2014, 8, 4061–4069.

5. Kim, S.H.; Song, W.; Jung, M.W.; Kang, M.A.; Kim, K.; Chang, S.J.; Lee, S.S.; Lim, J.; Hwang, J.; Myung, S.; et al. Carbon Nanotube and Graphene Hybrid Thin Film for Transparent Electrodes and Field Effect Transistors. *Adv. Mater.* 2014, 26, 4247–4252.

6. Gan, X.; Lv, R.; Bai, J.; Zhang, Z.; Wei, J.; Huang, Z.H.; Zhu, H.; Kang, F.; Terrones, M. Efficient photovoltaic conversion of graphene–carbon nanotube hybrid films grown from solid precursors. *2D Mater.* 2015, 2, 034003.

7. Lin, X.; Liu, P.; Wei, Y.; Li, Q.; Wang, J.; Wu, Y.; Feng, C.; Zhang, L.; Fan, S.; Jiang, K. Development of an ultra-thin film comprised of a graphene membrane and carbon nanotube vein support. *Nat. Commun.* 2013, 4, 2920.

8. Kim, Y.K.; Min, D.H. Durable Large-Area Thin Films of Graphene/Carbon Nanotube Double Layers as a Transparent Electrode. *Langmuir* 2009, 25, 11302–11306.

9. Dong, X.; Li, B.; Wei, A.; Cao, X.; Chan-Park, M.B.; Zhang, H.; Li, L.J.; Huang, W.; Chen, P. One-step growth of graphene–carbon nanotube hybrid materials by chemical vapor deposition. *Carbon* 2011, 49, 2944–2949.

10. Hong, T.K.; Lee, D.W.; Choi, H.J.; Shin, H.S.; Kim, B.S. Transparent, flexible conducting hybrid multilayer thin films of multiwalled carbon nanotubes with graphene nanosheets. *ACS Nano* 2010, 4, 3861–3868.