

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

Кафедра радиотехники и электродинамики
наименование кафедры

Графеновые наноструктуры, допированные азотом

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента (ки) 4 курса 423 группы

направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»
код и наименование направления

физического факультета

наименование факультета

Тоом Светланы Алексеевны

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

Старший преподаватель

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

В.В.Шунаев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой:

д.ф.-м.н., профессор

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

О.Е. Глухова

инициалы, фамилия

Саратов 2019г.

Введение

Графен - представляет собой гексанальную решётку атомов углерода, толщиной в один атом. В настоящее время графен является одним из наиболее перспективных материалов в развитии нанотехнологий[1]. Многообещающей возможностью для настройки и управления электронными свойствами графена является допирование гетероатомами. Допирование атомами азота позволяет превращать графен в полупроводник р- или n-типа соответственно, что сопровождается открытием запрещенной зоны.

Химическое допирование является одним из важных факторов адаптации свойств графена. Когда атом азота допирован в графен, наблюдаются три общие конфигурации связи в углеродной решетке, включая четвертичный N (или графитовый N), пиридиновый N и пирролический N. Обычно пиридиновый N связывается с двумя атомами углерода на краях или дефектах графена и вносит один р-электрон в π -систему. Пиррольный N относится к атомам азота, которые вносят два р-электрона в π -систему. Четвертичный N - это атомы азота, которые замещают атомы углерода в гексагональном кольце.

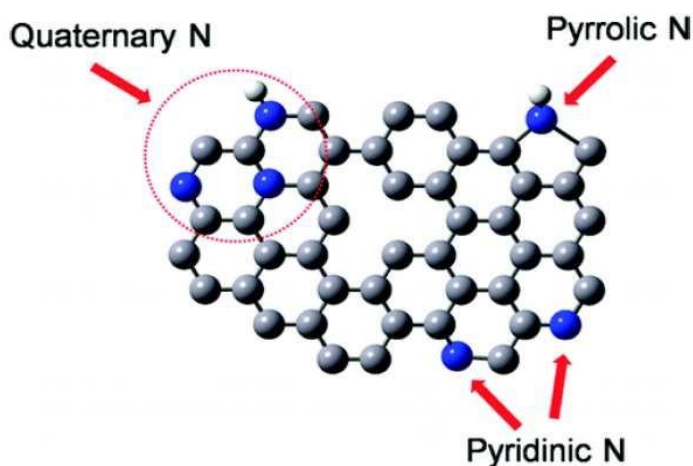


Рисунок 1: Три общих скрепления конфигурации азот-допированного графена.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель выпускной квалификационной работы

Целью данной работы является критический анализ литературы, посвященной азот-допированному графену, а именно:

- изучение методов синтеза и сфер применения;
- изучение существующих на данный момент атомистических моделей;
- изучение электронного строения.

Структура и объём работы

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, трех глав и списка используемой литературы. Общий объём работы составляет 37 страницы, 22 рисунка. Библиография включает 26 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность материалов на основе азот-допированного графена и сформулирована основная цель выпускной квалификационной работы.

В **первой главе** показаны методы синтеза азот-допированного графена. К таким методам относятся метод химического осаждения из паровой фазы (CVD)[2-4], относящийся к прямому синтезу и метод плазменной обработки, относящийся к пост-синтез обработки[5-6]. Оба метода показывают успешное допирование графена азотом и наличие в N-графене всех функциональных групп (четвертичный N, пиридиновый N и пирролический N).

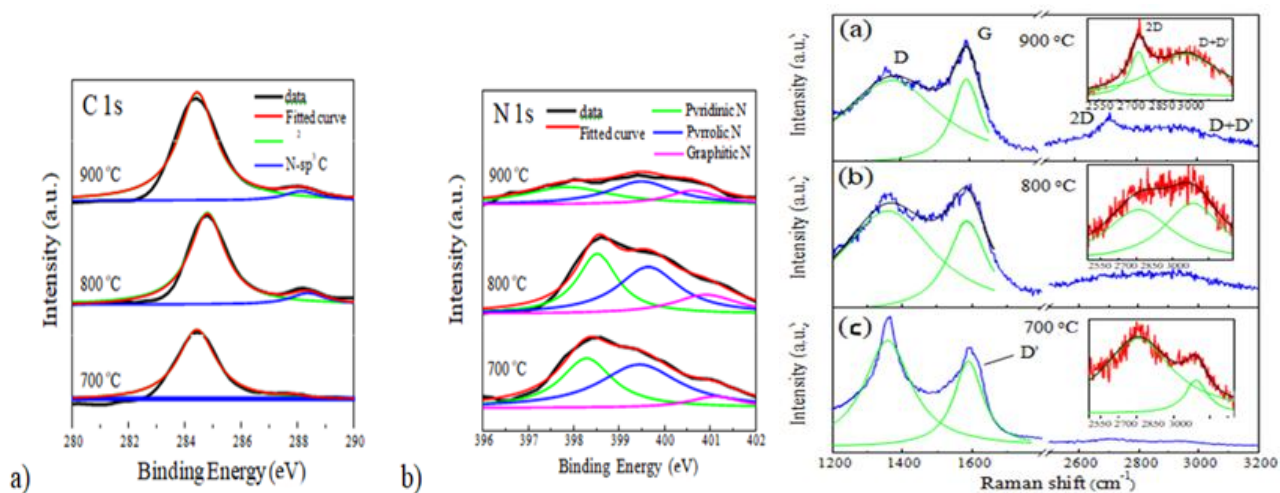


Рисунок 1. Пиковые спектры вокруг пика C 1s и N 1s N-допированного графена . КР азот-допированного графена при а) 900°C, б) 800°C, в) 700°C (CVD)[2].

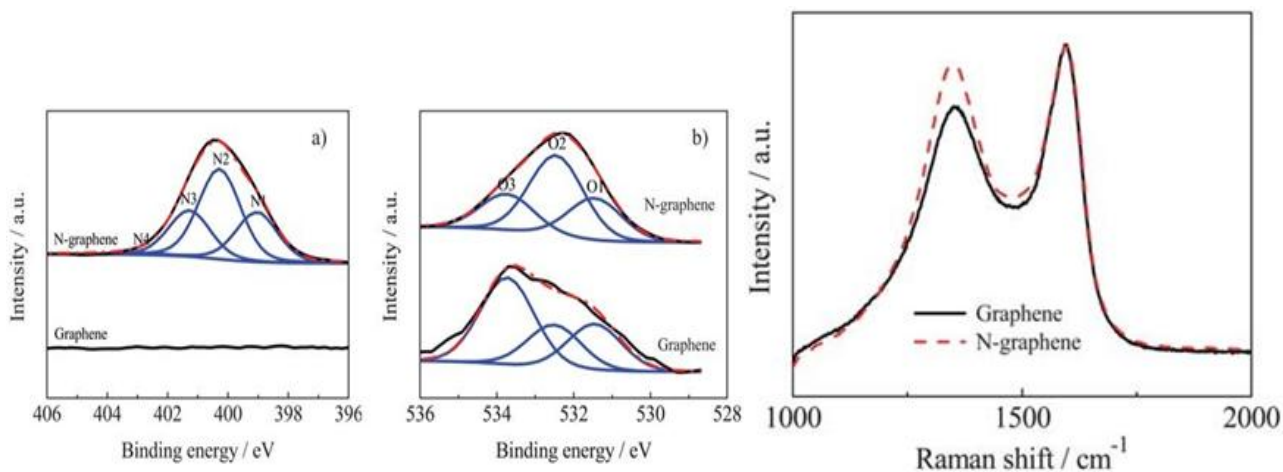


Рисунок 2. XPS-спектры графена высокого разрешения N 1s (а) и O 1s (б) высокого разрешения графена и N-графена. Рамановские спектры графена и графена, допированного азотом (плазменная обработка)[5].

Во **второй главе** были рассмотрены основные применения азот-допированного графена. А именно, перспективы применения N-графена в литий ионных аккумуляторах[8-10] и суперконденсаторах[11-15].

Метод синтеза	Субстратные источники N/C	Концентрация N(%)	Применение	Преимущества в применении
CVD	Медь на подложке из кремния (Si) CH ₄ /NH ₃ .	8.9	Полупроводниковые устройства.	Улучшенные электронные свойства.
CVD	Si-нанопроволочная подложка CH ₄ /NH ₃ .	3-10	Литий-ионные аккумуляторы.	Контролируемая толщина электронной щели.
CVD	Медная фольга.	16.7	Электронные устройства.	Контролируемая толщина э/щели, высокая подвижность электронов.
Плазменная обработка	Si-нанопроволочная подложка CH ₄ /N ₂ .	0.7-6.3	Пьезоэлектрический излучатель.	Повышенная плотность тока.
Плазменная обработка	GO /N ₂ .	1.68-2.51	Суперконденсатор.	Высокая емкость и длительный срок службы.

Таблица 1. Краткое описание методов синтеза, содержания N, применений и преимуществ в синтезе / применениях N-допированного графена[7].

В третьей главе показана зависимость свойств N-графена от концентрации азота при допировании, а именно ширины запрещенной зоны и теплопроводящих свойств.

Концентрация (%)	E _{сoh}	Запрещенная зона (eV)
2	-9.16	0.14
4	-9.12	0.30
6	-9.07	0.45
8	-9.01	0.50
10	-8.99	0.68
12	-8.95	0.68

Таблица 2. Энергия связи и ширина запрещенной зоны при увеличении концентрации допирования и изменении конфигураций[16].

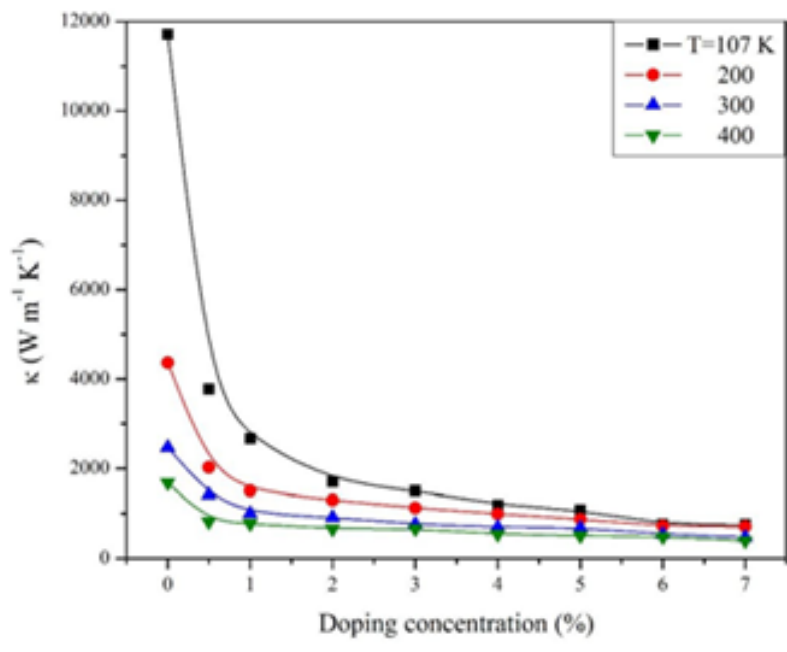


Рисунок 3. Теплопроводящие свойства для N-графена с различной концентрацией азота и различными температурами[17].

В заключении сформулированы основные результаты и выводы проделанной работы и перспективы.

Список использованных источников:

1. И.М.Булатова. Графен: Свойства, получение, перспективы применения в нанотехнологиях и нанокompозитах/ И.М.Булатова // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №14. – 45-48.
2. Lu, Yu-Fen & Lo, Shun-Tsung & Lin, Jheng-Cyuan & Zhang, Wenjing & Lu, Jing-Yu & Liu, Fan-Hung & Tseng, Chuan-Ming & Lee, Yi-Hsien & Liang, C.-T & Li, L. (2013). «Nitrogen-Doped Graphene Sheets Grown by Chemical Vapor Deposition: Synthesis and Influence of Nitrogen Impurities on Carrier Transport». ACS nano, 7, 8, 6522-6532.
3. Wei, D.; Liu, Y.; Wang, Y.; Zhang, H.; Huang, L.; Yu, G. «Synthesis of N-Doped Graphene by Chemical Vapor Deposition and Its Electrical Properties». Nano Lett. 2009, 9, 1752-1758.
4. С.Тихомиров, Т.Кимстач (2011). «Спектроскопия комбинационного рассеяния – перспективный метод исследования углеродных наноматериалов». Рекламно-издательский центр "ТЕХНОСФЕРА". Москва. 1. 28-32.
5. Yuyan Shao, Sheng Zhang, Mark H. Engelhard, Guosheng Li, Guocheng Shao, Yong Wang, Jun Liu, Ilhan A. Aksay and Yuehe Lin: «Nitrogen-doped graphene and its electrochemical applications», J. Mater. Chem., 2010, 20, 7491–7496
6. P. H. Matter, L. Zhang and U. S. Ozkan, J. Catal. «The role of nanostructure in nitrogen-containing carbon catalysts for the oxygen reduction reaction», 2006, 239, 83–96.
7. J. Casanovas, J.M. Ricart, J. Rubio, F. Illas, J.M. Jimenez-Mateos, J. Am. «Origin of the Large N 1s Binding Energy in X-ray Photoelectron Spectra of Calcined Carbonaceous Materials». Chem. Soc. 118 (1996) 8071.
8. N.A. Kaskhedikar, J. Maier, Adv. «Lithium Storage in Carbon Nanostructures». Mater. 21 (2009) 2664.
9. H. Xu et al., «Nitrogen-doped graphene: Synthesis, characterizations and energy applications», Nano Today, 9, 2014, 324-343.

10. B.J. Landi, M.J. Ganter, C.D. Cress, R.A. DiLeo, R.P. Raffaele, «Energy Environ». 1032 Sci. 2 (2009) 638–654.
11. Y.J. Cho, H.S. Kim, H. Im, Y. Myung, G.B. Jung, C.W. Lee, J. Park, M.H. Park, J. Cho, H.S. Kang, J. «Nitrogen-doped graphene: Synthesis, characterizations and energy applications». Phys. Chem. C (2011) 9451–9457.
12. A.M. Reddy, A. Srivastava, S.R. Gowda, H. Gullapalli, M. Dubey, P.M. Ajayan. «Synthesis Of Nitrogen-Doped Graphene Films For Lithium Battery Application». ACS Nano 4 (2012) 6337–6342.
13. Y.P. Zhang, B. Cao, B. Zhang, X. Qi, C.X. Pan, «The production of nitrogen-doped graphene from mixed amine plus ethanol flames». Thin Solid Films 520 (2012) 6850–6855.
14. H.M. Jeong, J.W. Lee, W.H. Shin, Y.J. Choi, H.J. Shin, J.K. Kang, J.W. Choi. «Nitrogen-Doped Graphene for High-Performance Ultracapacitors and the Importance of Nitrogen-Doped Sites at Basal Planes». Nano Lett. 11 (2011) 2472–2477.
15. D.J. Late, A. Ghosh, K.S. Subrahmanyam, L.S. Panchakarla, S.B. Krupanidhi, C.N.R. Rao. «Synthesis, Structure, and Properties of Boron- and Nitrogen- Doped Graphene». Solid State Commun. 150 (2010) 734–738.
16. J.O. Hwang, J.S. Park, D.S. Choi, J.Y. Kim, S.H. Lee, K.E. Lee, Y.H. Kim, M.H. Song, S. Yoo, S.O. Kim. «Workfunction-Tunable, N-Doped Reduced Graphene Transparent Electrodes for High-Performance Polymer Light-Emitting Diodes». ACS Nano 6 (2012) 159–167.
17. Goharshadi, Elaheh & Mahdizadeh, Sayyed Jalil. «Thermal Conductivity and Heat Transport Properties of Nitrogen-Doped Graphene». Physics Letters A. Vol.379, pp. 810-814, 2015.