

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

Диссертационного совета Д003.053.01 при ИТ СО РАН о диссертационной работе Костограда Ильи Алексеевича «Экспериментальное исследование процессов термического синтеза графена на меди и переноса графена на полимер», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

1. Диссертационная работа выполнена в Лаборатории разреженных газов (лаб. 4.1) и Лаборатории синтеза новых материалов (лаб. 4.2) ИТ СО РАН.
2. Диссертационная работа посвящена экспериментальному исследованию процессов синтеза графена методом термического осаждения из газовой фазы на медной подложке, определению влияния условий отжига на структуру медной подложки, определению влияния параметров синтеза на рост графена, а также изучению условий переноса графеновых пленок с медной подложки на полимер.

В процессе выполнения работы были поставлены и решены следующие задачи:

- Развить методику APCVD синтеза графена на медной подложке. Исследовать эволюцию поверхностной текстуры меди в процессе её термической обработки при температурах близких к точке плавления меди в атмосферах аргона и водорода. Исследовать влияние температуры синтеза и концентрации газов на структуру графеновых пленок. Определить диапазон параметров для синтеза сплошных пленок однослойного и многослойного графена.
- Реализовать методики диагностики графена на различных поверхностях, обеспечивающие высокий уровень достоверности.
- Исследовать влияние термических деформаций и диффузии газов на структуру графеновой пленки при переносе с меди на полимер. Определить роль термических расширений системы медь/графен/полимер, возникающих во время переноса графена с меди на полимер методом горячего прессования. Определить роль диффузии остаточных газовых пузырей через полимер при спекании полимера с графеном.

3. Основные результаты работы Костограда И.А.:

- Развита методика APCVD синтеза графена на медной подложке с использованием метана, аргона и водорода, позволяющая получать сплошные и островковые графеновые пленки с различными степенью покрытия, степенью дефектности $I(D)/I(G) = 0,01-0,33$ и количеством слоев. Экспериментально показано, что в зависимости от соотношения расходов газов метана и водорода в смеси синтеза

графеновые 2D-кристаллы меняют свою форму с произвольной на симметричную гексагональную.

- Для оптимальных условий синтеза определены термодинамические параметры. С помощью модели Джонсона - Мела - Аврами – Колмогорова, приведенной к двумерному виду определены скорости роста ($v = 2,22-3,03$ мкм/мин) и интенсивности зародышеобразования ($J = 0,021 - 0,023$ мкм⁻²мин⁻¹) графеновых 2D-кристаллов. По полученным экспериментальным данным определена энергия активации роста графена (1,17 эВ).
 - В результате исследования эволюции текстуры поверхности медной фольги Alfa Aesar 13382 в процессе её термической обработки в атмосфере водорода при температурах, близких к точке плавления меди, обнаружено, что в течение 30 мин отжига исходно произвольно ориентированные зерна меди со средним размером 12 мкм увеличиваются до размеров 150 - 250 мкм и приобретают выделенную ориентацию (001) к поверхности. Дальнейший отжиг приводит к росту зерен до размеров порядка миллиметра с доминирующей ориентацией (111). На начальном этапе отжига скорость роста зерен составила порядка 3 мкм/мин, что по оценкам соответствует скорости самодиффузии меди в данных условиях.
 - Основными факторами, приводящими к повреждению графеновых пленок и увеличению их сопротивления при переносе методом горячего прессования на полимер ПЭТ/ЭВА с механическим разделением, являются: температурное напряжение системы «полимер – графеновый слой» ($\Delta R/R \sim 0,5$); формирование газовых пузырей на интерфейсе «графен – термополимер» ($\Delta R/R \sim 3$); деформация образцов при разделении ($\Delta R/R > 7$). Степень переноса графена с поверхности меди для зерен, соответствующих основным кристаллографическим направлениям, меньше, чем для зерен с промежуточными ориентациями.
4. Рассмотрев содержание диссертации и автореферата, комиссия пришла к выводу, что тема диссертации, а также её содержание соответствуют научной специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника по физико-математическим наукам.

По теме диссертации опубликовано 9 работ в печатных изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК. Основные результаты работы были представлены на 12 всероссийских и 5 международных конференциях. Комиссия считает, что представленные соискателем материалы диссертации в полной мере опубликованы в научных рецензируемых изданиях. Требования к публикациям, предусмотренные пунктами 11, 13 «Положение о присуждении ученых степеней» соблюдены.

Все представленные в работе результаты получены автором лично, либо с его непосредственным участием. Вклад автора состоял в подготовке и проведении всех представленных в диссертации экспериментов, обработке, анализе и интерпретации

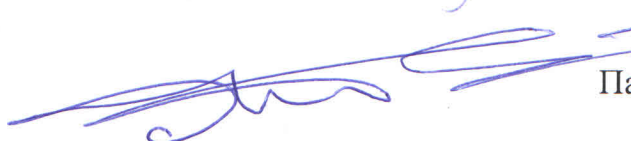
результатов. Теоретический анализ, подготовка статей для публикации в рецензируемых журналах, докладов на конференциях были проведены в составе научного коллектива с непосредственным участием автора. Материалы других авторов, использованные в диссертации Костограда И.А., во всех случаях содержат ссылку на источник и удовлетворяют требованиям пункта 14 «Положение о присуждении ученых степеней».

Экспертная комиссия рекомендует принять к защите диссертационную работу Костограда И.А. «Экспериментальное исследование процессов термического синтеза графена на меди и переноса графена на полимер» по специальности 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника, по физико-математическим наукам в диссертационном совете Д003.053.01 при ИТ СО РАН.

Председатель комиссии:
академик РАН, д.ф.-м.н.

 Ребров А.К.

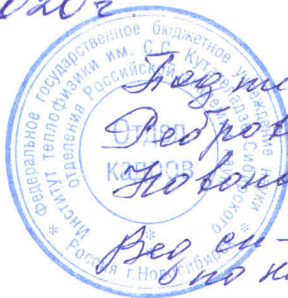
Члены комиссии:
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

 Павленко А.Н.

д.ф.-м.н.:

 Новопашин С.А.

24.09.2020г



Президиум работников:
Ребров А.К., Павленко А.Н.
Новопашин С.А. уполномочен
Ведущий специалист С.А. Сивенкина З.Ф.
по надзору