

УДК 661.666.14

**ОБРАЗОВАНИЕ СЛОИСТЫХ ГРАФЕНОВЫХ ПЛЕНОК
В УГЛЕВОДОРОДНОМ ПЛАМЕНИ****Н.Г. Приходько, Б.Т. Лесбаев, М. Ауелханкызы, Е.Ж. Оспанов, З.А. Мансуров**

РГП «Институт проблем горения», Алматы, Казахстан

E-mail: nik99951@mail.ru

Аннотация

В работе приведены результаты по исследованию синтеза графеновых пленок в предварительно перемешанном углеводородном пламени. Определены параметры горения, выбран тип каталитической подложки и ее вертикальная ориентация в пламени, обеспечивающие образование наименьшего количества слоев со структурной наибольшей упорядоченностью. Установлено, что в углеводородном пламени на никелевой подложке формируется преимущественно 5-10 слоев графенов. Показано, что при угле наклона подложки относительно вертикальной оси пламени от 0° до 30° можно получать минимальное количество слоев – 2-3 слоя. Проведены исследования по влиянию соотношения C/O и расхода аргона на образование слоистых графеновых пленок. Установлено, что образование слоев графенов происходит в широком диапазоне исследованных значений C/O = 0,75 до 1,05. Показано, что с ростом значения C/O и количества аргона в смеси, неупорядоченность формирующихся слоев графенов нарастает.

Ключевые слова: пламя, графен, углеводород, никель, подложка

Введение

Графен представляет собой однослойную двумерную углеродную структуру, поверхность которой регулярным образом выложена правильными шестиугольниками со стороной 0,142 нм и атомами углерода в вершинах. По своим свойствам графен является полуметаллом с малым перекрытием зоны проводимости и валентной зоны. В настоящее время большое внимание уделяется графенам из-за его необычных и потенциально полезных свойств, таких как высокая электро- и теплопроводность, зависимость электронных характеристик от наличия на поверхности графена присоединенных радикалов различной природы, регулируемая ширина запрещенной зоны, квантовый эффект Холла, чрезвычайно высокая подвижность носителей заряда (при комнатной температуре она достигает 10^4 см²/(В·с), что значительно выше подвижности в кремнии), высокая упругость и хорошие электромеханические характеристики [1-3]. Эти свойства позволяют его использовать в перспективе в качестве основы для новых наноматериалов с улучшенными механическими, электрическими и теплофизическими характеристиками, а также в качестве элемента наноэлектронных устройств.

На протяжении нескольких лет, прошедших с момента открытия первого метода

выделения графена, основанного на механическом расщеплении графитовых слоев [1, 2], усилия многих исследовательских лабораторий были направлены на развитие новых, более эффективных подходов к решению данной задачи. Многие методы, такие как жидкофазное расслоение графита, окисление графита, синтез графена методом химического осаждения паров, эпитаксиального выращивания графена на металлической поверхности, термическое разложение карбида, получение графена в электрической дуге и др., используются для получения графена [3, 4]. Однако, эти методы очень трудоемки, требуют много времени и имеют низкий выход графена. Поэтому поиски новых, менее трудоемких и более продуктивных методов синтеза графенов, является актуальной задачей.

Одним из таких перспективных методов может быть метод получения графеновых слоев в пламени. Процесс образования наноструктур в пламени является быстропротекающей реакцией, в которой за время от 10^{-5} до 10^{-3} секунды образуется твердая фаза. Пламенный метод является непрерывным, простым, недорогим и обладает возможностью его распространения на производство графена. Отработка метода получения графенов в пламени и его распространение на масштабное производство внесет значительный вклад в фундаментальное исследование и практическое применения графенов. Предварительные исследования ряда авторов [5, 6] подтверждают, что процесс

получения графенов в пламени может конкурировать с их синтезом методом химического осаждения паров (CVD), который за последнее время развился в части получения графенов на большей площади.

В данной работе представлены результаты по исследованию синтеза графеновых пленок в пламени: определены параметры горения, выбран тип каталитической подложки и ее ориентация в пламени, обеспечивающие образование наименьшего количества слоев со структурной наибольшей упорядоченностью; проведены исследования по влиянию соотношения C/O и расхода аргона в зависимости от вида топлива.

Экспериментальная часть

На первом этапе были проведены исследования процесса образования слоистых графеновых пленок в пламени предварительно перемешанной пропан-кислородной смеси при атмосферном давлении при следующих условиях: расход пропана – 219,1 см³/мин, расход кислорода – 381 см³/мин, что соответствовало соотношению C/O=0,86. Исследования проводили, как с добавкой аргона в пропан-кислородную смесь в количестве 300-650 см³/мин, так и без аргона. В качестве каталитических подложек применялись пластинки из меди и никеля, которые помещали в центральную часть пламени, рис. 1.



Рис. 1 – Фото пламени предварительно перемешанной пропан-кислород-аргонной смеси с помещенной в нее каталитической подложкой

Варьировался диапазон времени нахождения подложки в пламени: 5, 10, 20, 30, 40, 60 секунд, 5 и 10 минут; варьировался угол наклона подложки относительно вертикальной оси пламени: $\alpha = 0, 30, 45, 60, 85^\circ$. Температура пламени при экспериментах находилась в интервале 900-950 °С. Измерения температурного профиля в центральной части пламени прово-

дилось с применением хромель-алюмелевой термопары при шаге каждой точки измерения 5 мм, а за начальную точку отсчета была взята матрица горелки. Результаты измерения температурного профиля по высоте в центральной части пропан-кислородного пламени при добавлении аргона приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения температуры по высоте центральной части пропан-кислород-аргонного пламени

Высота пламени, мм	Напряжение, мВ	Температура, °С
5	36	867
10	37	892
15	36	867
20	39	943
25	41	993
30	40	968

Температура пламени в значительной степени зависит от количества аргона в той или иной точке пламени, и этим объясняется характер изменения температуры по высоте пламени.

На втором этапе были проведены исследования процесса образования слоистых графеновых пленок в пламени предварительно перемешанной пропан-кислородной и бутан-кислородной смесей при атмосферном давлении в зависимости от соотношения C/O с добавлением аргона. Аргон подавался в количестве 150, 250, 350, 450 и 500 см³/мин. Время нахождения пластинки в пламени составляло 5 минут. Так как температура пламени в значительной степени зависит от количества пода-

ваемого аргона и соотношения C/O, а при помещении подложки в пламя ее температура снижается на 30-50 °С из-за отвода тепла пластиной и держателем, то начальную температуру пламени выставляли в пределах 950-970 °С. Температура пламени в процессе синтеза графенов на каталитической подложке поддерживалась в пределах 900 -920 °С.

Исследование образования слоистых графеновых пленок проводили при постоянном значении расхода пропана или бутана в объеме 219,1 см³/мин. С целью получения заданных соотношений C/O изменялся расход кислорода, значения которого приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значение расхода кислорода в зависимости от вида топлива для получения заданного соотношения C/O

Значение C/O	0,75	0,85	0,95	1,05
Расход O ₂ для C ₃ H ₈ , см ³ /мин	438,2	386,6	345,9	313,0
Расход O ₂ для C ₄ H ₁₀ , см ³ /мин	584,3	515,5	461,3	417,3

При экспериментальном исследовании влияния соотношения C/O на синтез графеновых слоев при горении предварительно перемешанной пропан- или бутан-кислородной смеси расход аргона был постоянен и равнялся 250 см³/мин.

Полученные на подложках образцы сажевых структур исследовались на Раман-спектрометре NTEGRA Spectra при длине волны $\lambda=473$ нм. Раман-спектроскопия позволила установить наличие слоистых графеновых пленок, а также оценить качество получаемых графеновых слоев.

Результаты и обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что для образования слоистых графеновых пленок предпочтительно применять никелевую подложку. Синтез графеновых слоев на медной подложке происходит на ее поверхности, и при данных условиях эксперимента не происходило формирование графитизированной структуры.

При этом медная подложка подвержена сильному окислению в пламени с образованием на поверхности окисной пленки, отслаивающейся при охлаждении.

Экспериментально было установлено, что образование графеновых слоев на подложке происходит при ее вертикальном размеще-

нии в пламени, как показано на рис. 1. При этом формирование графенов происходит по обеим сторонам подложки, рис. 2 (зоны образования графенов показаны стрелками).

При наклоне подложки на некоторый угол относительно вертикальной оси, на стороне, расположенной ближе к стабилизатору, область формирования графенов повышается. Определено, что зона формирования графеновых слоев находится на границе начала формирования сажевых частиц, что видно на рисунке 2 (серая область).

При наклоне подложки на некоторый угол относительно вертикальной оси, на стороне, расположенной ближе к стабилизатору, область формирования графенов повышается (рис. 2, б).

Как известно в типичном спектре графена присутствует три пика: первый пик D при 1351 см⁻¹, второй пик G при 1580 см⁻¹ и третий пик 2D при 2700 см⁻¹ [4, 5]. Соотношение между интенсивностью G пика (I_G) и 2D пика (I_{2D}) дает оценку числа слоев (I_G/I_{2D}) [5]. Для однослойного графена это соотношение меньше единицы.

Исследования по оценке влияния времени нахождения подложки в пламени горелки на процесс формирования графенов показали, что с увеличением времени нахождения подложки в пламени от 5 до 60 секунд наблюдается тенденция формирования графеновых слоев

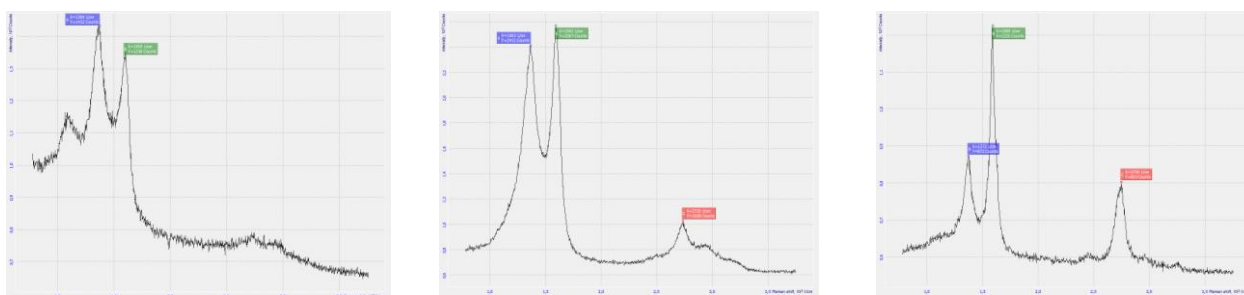
с уменьшением степени неупорядоченности графитизированной структуры, что характеризуется появлением пика 2D при 2700 см^{-1}

и с уменьшением интенсивности пика D при 1351 см^{-1} , рис. 3.



а – прямая сторона подложки, б – обратная сторона подложки

Рис. 2 – Фото никелевой подложки с зонами формирования графеновых слоев



а – время экспозиции 5 секунд, б - 30 секунд, в – 60 секунд

Рис. 3 – Раман-спектры образцов графитизированной сажевой структуры на никелевой подложке при разной экспозиции ($C/O=0,86$)

С увеличением времени нахождения подложки в пламени до пяти минут идет устойчивое формирование графеновых слоев с уменьшением степени неупорядоченности. Экспозиция свыше пяти минут не приводит к существенному изменению полученных структур на подложке.

Дальнейшие исследования проводились на никелевой подложке при времени экспозиции 5 минут. Была проведена оценка влияния угла наклона подложки относительно вертикальной оси пламени на формирование графеновых слоев. Установлено, что формирование графеновых слоев наблюдается при угле наклона менее 90° . При расположении подложки под углом 90° (перпендикулярно оси пламени) происходит формирование аморфной сажевой структуры. Результаты изменения отношения I_G/I_{2D} , характеризующее количество слоев гра-

фена на подложке, в зависимости от угла наклона подложки по отношению к вертикальной оси пламени, приведены в таблице 3.

Установлено, что минимальное количество слоев графена (два-три слоя, $I_G/I_{2D} = 1,1-1,3$) наблюдается в диапазоне угла наклона подложки от 0° до 30° , рис. 4.

Размещение подложки под углом в 30° относительно вертикальной оси пламени позволило получить два слоя графена ($I_G/I_{2D} = 1,1$), Раман-спектр которого показан на рис. 4, б. Дальнейшее увеличение угла наклона подложки относительно вертикальной оси пламени (свыше 30°) приводит к росту минимального количества формирующихся слоев графена на подложке - от 5 до 10 ($I_G/I_{2D} = 1,7-2,4$), (рис. 4, в).

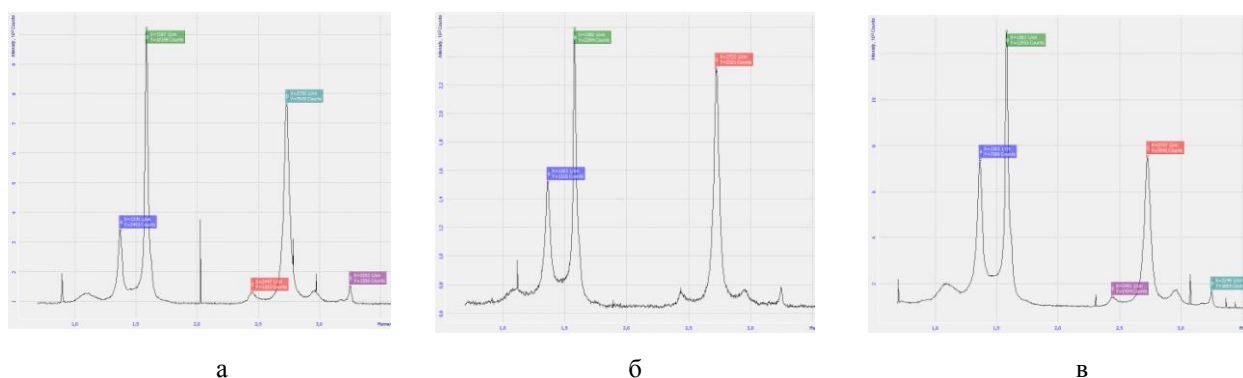
Исследования по образованию графеновых слоев в пропан-кислородном пламени без

добавления аргона на никелевой подложке при времени экспозиции 5 минут и угле наклона 30° показали, что на подложке образуется ми-

нимально 5-10 слоев графена ($I_G/I_{2D} = 1,6-2,5$), Раман-спектры которых приведены на рис. 5.

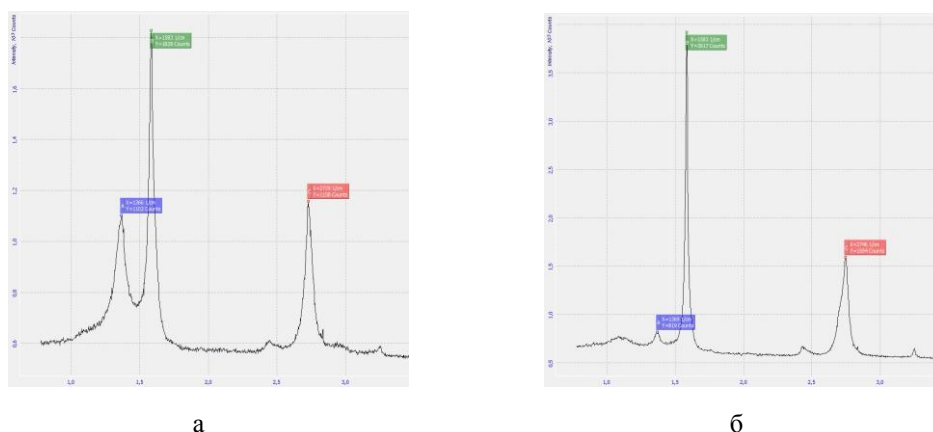
Таблица 3 - Значения отношения I_G/I_{2D} в зависимости от угла наклона никелевой подложки относительно вертикальной оси пламени

Угол наклона, градус	Минимальное значение I_G/I_{2D}	Максимальное значение I_G/I_{2D}
0	1,3	2,0
30	1,1	1,9
45	1,7	2,4
60	2,0	2,3
85	2,0	2,2



а – три слоя ($\alpha = 0^\circ$, $I_G/I_{2D} = 1,3$),
б – два слоя ($\alpha = 30^\circ$, $I_G/I_{2D} = 1,1$),
в – пять слоев ($\alpha = 45^\circ$, $I_G/I_{2D} = 1,7$)

Рис. 4 – Раман-спектры полученных слоев графена на никелевой подложке ($C/O = 0,86$, $t = 917^\circ\text{C}$, $\tau = 5$ мин)



а – пять слоев ($I_G/I_{2D} = 1,6$),
б – десять слоев ($I_G/I_{2D} = 2,5$)

Рис. 5 – Раман-спектры слоев графена, синтезированного на никелевой подложке в пропан-кислородном пламени без добавления аргона ($C/O = 0,86$, $t = 917^\circ\text{C}$, $\tau = 5$ мин)

Определено, что зона формирования графеновых слоев находится на границе перед началом формирования сажевых частиц. С целью подтверждения этого факта, была прове-

дена серия экспериментов с размещением в пламя никелевых подложек, высота которых как не доходила до зоны сажеобразования, так и входила в нее. По истечению пяти минут

подложки вынимались из пламени. На рис. 6 представлено фото общего вида цилиндрической никелевой подложки, развернутой в пла-

стину, входящей в зону сажеобразования, с синтезированными углеродными структурами.



а - внутренней сторона цилиндра из никелевой подложки,
б - внешняя сторона цилиндра из никелевой подложки

Рис. 6. Фото никелевой подложки с синтезированными углеродными структурами.

Перед сажевыми структурами находится зона графеновых слоев, показанная стрелками на рис. 6. Был подтвержден тот факт, что только формирование сажевых структур на по-

верхности подложки способствует образованию графеновых слоев. На рис. 7 представлены Раман-спектры полученных структур по мере приближения к сажевому слою.

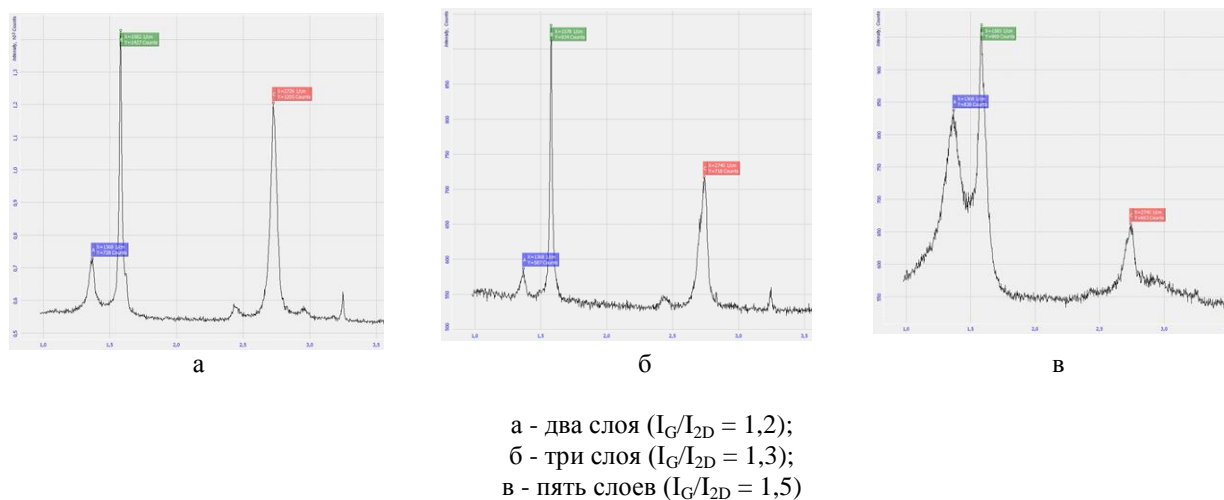


Рис. 7 – Раман-спектры образцов графитизированной сажевой структуры на никелевой подложке

Исследования на Раман-спектрометре графеновых слоев, образованных на никелевой подложке, позволили установить размеры формирующихся слоев графена, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Установлено, что формирование непрерывного слоя графена, как правило, протекает преимущественно в вертикальном направлении. Максимально достигнутый размер слоя графена в вертикальном направлении при данных исследованиях составил два мм, а в горизонтальном - один-пять мкм (рис. 6).

Результаты экспериментального исследования при синтезе графеновых слоев при горении предварительно перемешанной пропан- и бутан-кислородной смеси при разных соотношениях C/O приведены ниже. Расход аргона во всех экспериментах был постоянен и равнялся $250 \text{ см}^3/\text{мин}$. Результаты полученного минимального отношения I_G/I_{2D} , характеризующего количество слоев графена на подложке в зависимости от вида исходного топлива и соотношения C/O, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения минимального отношения I_G/I_{2D} в зависимости от соотношения C/O и вида топлива

Значение соотношения C/O	0,75	0,85	0,95	1,05
Пропан, I_G/I_{2D}	2,2	1,8	1,5	1,9
Бутан, I_G/I_{2D}	1,5	2,0	1,3	1,6

Установлено, что преимущественно в пламени пропана и бутана при данных условиях наблюдается формирование графеновых слоев в количестве 5-10 слоев. Результаты Раман-спектроскопических исследований сажевых образцов представлены на рис. 8 и 9.

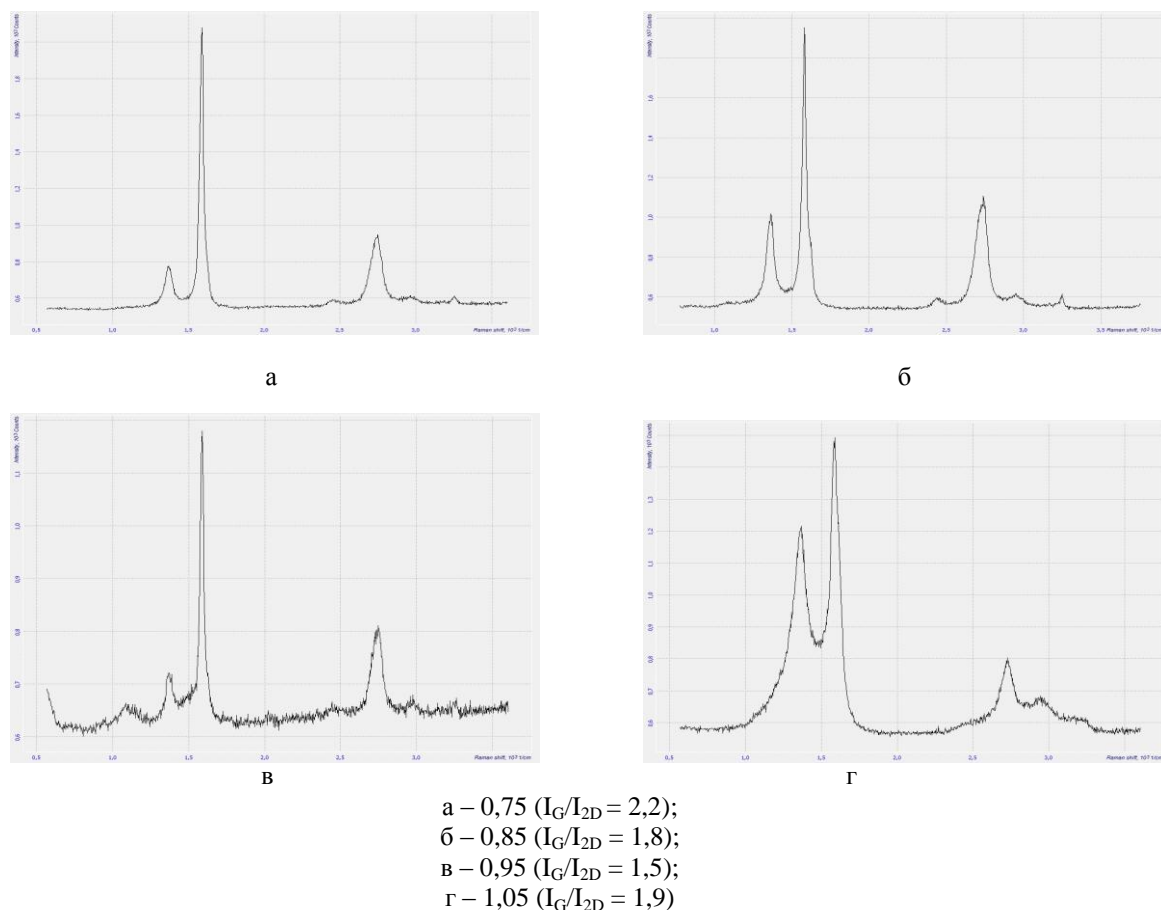
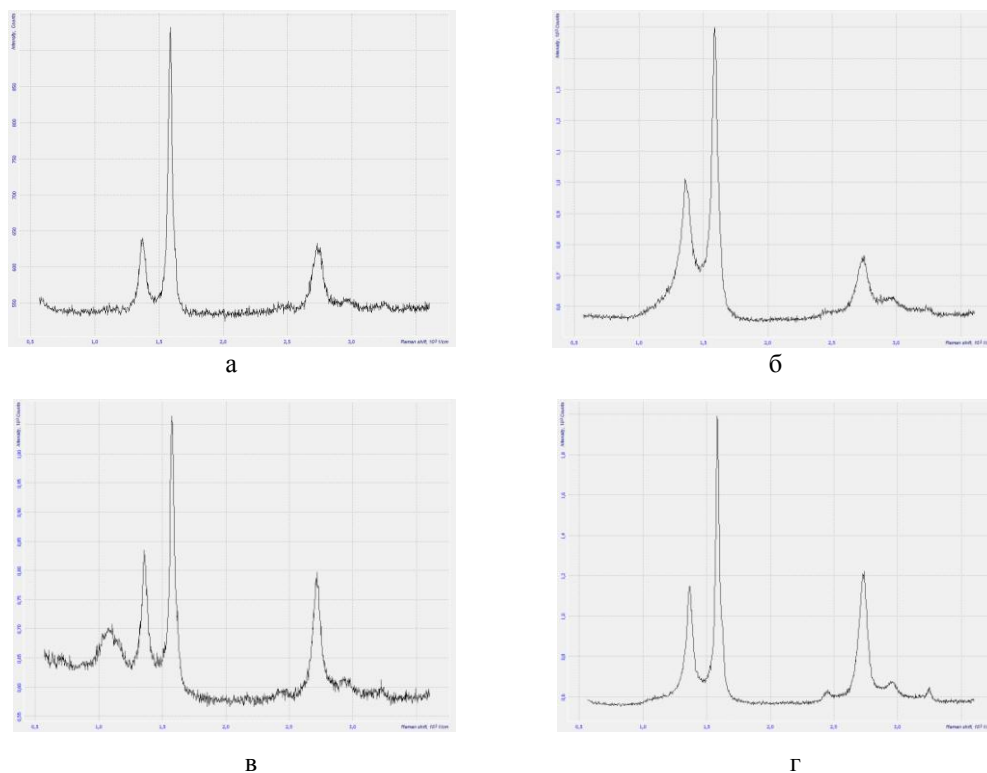


Рис. 8 – Раман-спектры образцов графитизированной сажевой структуры, полученных на никелевой подложке в пропан-кислород-аргонном пламени при разных значениях C/O

Установлено, что графеновые слои формируются независимо от вида топлива в исследованном диапазоне соотношений C/O с четко выраженным пиком графита G. При этом наблюдается тенденция увеличения степени неупорядоченности графеновых слоев с ростом соотношения C/O, что характеризуется повышением интенсивности пика D. Для пропан-кислородной смеси степень неупорядоченности наблюдается при большем соотношении C/O, чем для бутан-кислородной смеси. Однако для бутан-кислородной смеси при соотношении C/O = 0,95 было получено мини-

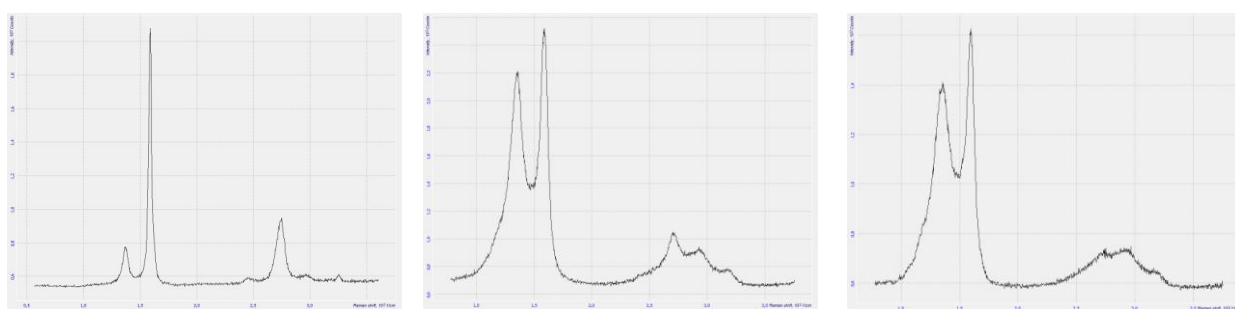
мальное количество слоев графена (три слоя, $I_G/I_{2D} = 1,3$).

Было проведено исследование влияния расхода аргона на синтез слоев графена при его подаче в пропан- или бутан-кислородные пламена. Установлено, что при соотношении C/O = 0,75 для пропан-кислородного пламени увеличение содержания аргона от 150 см³/мин до 500 см³/мин не активизирует процесс формирования слоев графена, а приводит к образованию преимущественно аморфной сажевой структуры, что показано на Раман-спектрах, приведенных на рис. 10.



- а – 0,75 ($I_G/I_{2D} = 1,5$);
 б – 0,85 ($I_G/I_{2D} = 2,0$);
 в – 0,95 ($I_G/I_{2D} = 1,3$);
 г – 1,05 ($I_G/I_{2D} = 1,6$)

Рис. 9 – Раман-спектры образцов графитизированной сажевой структуры, полученных на никелевой подложке в бутан-кислород-аргонном пламени при разных значениях C/O



- а – 150 см³/мин ($I_G/I_{2D} = 2,2$);
 б – 350 см³/мин ($I_G/I_{2D} = 2,4$);
 в – 500 см³/мин ($I_G/I_{2D} = 2,2$)

Рис. 10 – Раман-спектры образцов графитизированной сажевой структуры, полученных на никелевой подложке в пропан-кислород-аргонном пламени при $C/O = 0,75$ при различных расходах аргона

Аналогичная ситуация для пропан-кислородного пламени наблюдается и при большем соотношении C/O . Раман-спектры графеновых слоев при $C/O = 1,05$ с разным расходом аргона приведены на рис. 11. В пропан-кислородном пламени при соотношении

$C/O = 1,05$ с подачей 150 см³/мин аргона на никелевой подложке наблюдалось образование минимального количества слоев графена (рис.11, а: три слоя, $I_G/I_{2D} = 1,3$).

Для бутан-кислородного пламени при $C/O = 0,75$ увеличение количества подаваемо-

го аргона не ведет к формированию аморфной сажевой структуры, как это наблюдается в пропан-кислородном пламени (см. рис. 10).

Раман-спектры полученных слоев графена приведены на рис. 12.

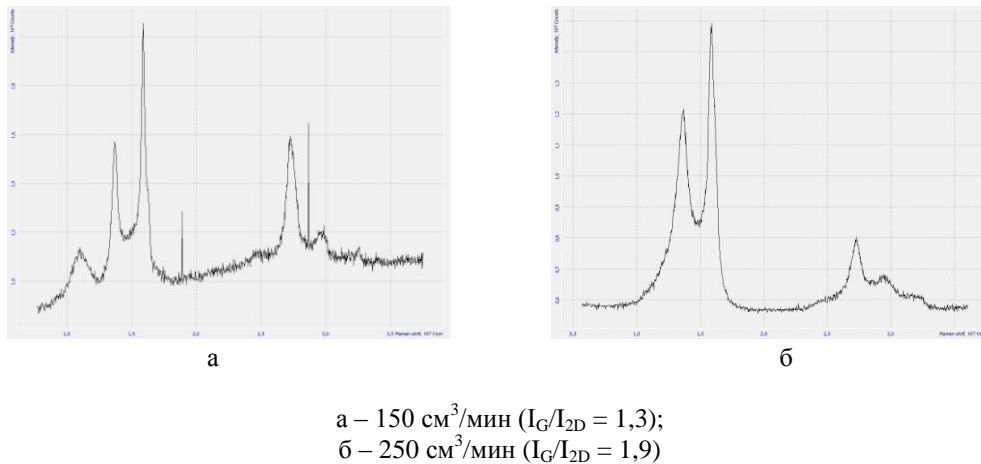


Рис. 11 – Раман-спектры графеновых слоев полученных на никелевой подложке в пропан-кислород-аргонном пламени при $C/O = 1,05$ при различных расходах аргона

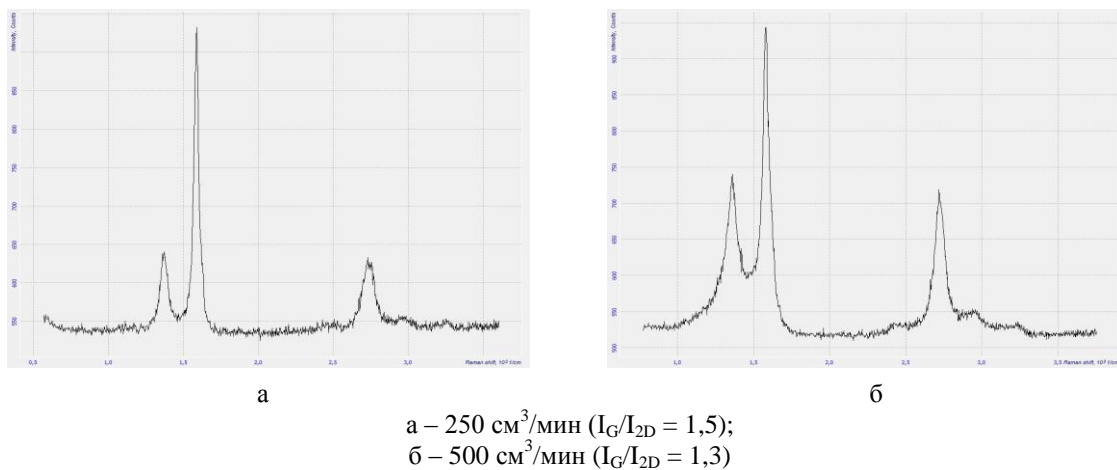
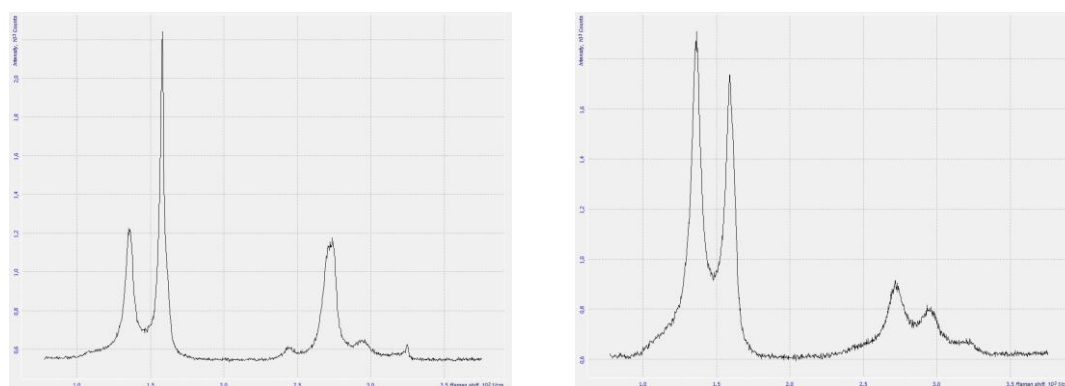


Рис. 12 – Раман-спектры образцов графитизированной сажевой структуры, полученных на никелевой подложке в бутан-кислородном пламени при $C/O = 0,75$ при различных расходах аргона

С увеличением расхода аргона при $C/O = 0,75$ в бутан-кислородном пламени наблюдается формирование слоев графена и даже в минимальном их количестве (рис. 12, б: три слоя, $I_G/I_{2D} = 1,3$).

С ростом соотношения $C/O > 0,75$ для бутан-кислородного пламени увеличение расхода аргона приводит к большей неупорядоченности образующихся графеновых слоев, как это наблюдается в пропан-кислородном пламени. Раман-спектры полученных сажевых структур приведены на рис. 13. Однако в бутан-кислородном пламени этот процесс наблюдается при большем расходе аргона (500 см³/мин), чем для пропан-кислородного пламени (250 см³/мин).

Исследования по образованию графенов на каталитической подложке в пламени показали, что формирующиеся слои графенов предшествуют образованию сажевых структур (см. рис. 6). Ранее, Бокхорном Х. (Bockhorn H.) [7], была предложена общая схема реакции образования сажи в гомогенных смесях предварительно перемешанных пламен, где промежуточными продуктами являются полициклические ароматические углеводороды (ПЦАУ). ПЦАУ можно рассматривать как основу образования графенов в пламени, как предшественников образования сажевых частиц. На рис. 14 представлена схема образования частиц сажи, дополненная стадией образования графена.



а

б

а – 250 см³/мин ($I_G/I_{2D} = 1,9$);
 б – 500 см³/мин ($I_G/I_{2D} = 1,9$)

Рис. 13 – Раман-спектры образцов графитизированной сажевой структуры, полученных на никелевой подложке в бутан-кислородном пламени при $C/O = 0,95$ при различных расходах аргона

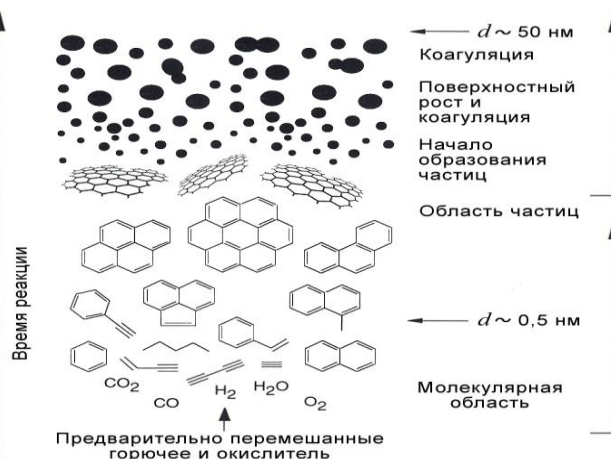


Рис. 14 – Схема образования частиц сажи, дополненная стадией образования графена

Заключение

В результате анализа результатов исследований по образованию графеновых слоистых пленок в пламени, можно сделать следующие выводы:

- показана возможность синтеза двух-трех слоев графена в предварительно перемешанном пропан-кислород-аргонном пламени на никелевой подложке при времени экспозиции 5 минут;

- установлено, что минимальное количество слоев графена (два-три слоя, $I_G/I_{2D} = 1,1-1,3$) наблюдается в диапазоне угла наклона подложки от 0° до 30°;

- установлено, что дальнейшее увеличение угла наклона подложки относительно вертикальной оси пламени (свыше 30°) приводит к росту минимального количества формиру-

ющихся слоев графена на подложке - от 5 до 10 ($I_G/I_{2D} = 1,7-2,4$);

- установлено, что без добавления аргона на подложке образуется 5-10 слоев графена ($I_G/I_{2D} = 1,6-2,5$);

- определено, что образование графеновых слоев на подложке происходит вертикально по высоте пламени при последующем переходе в сажевую структуру.

- установлено, что формирование графеновых слоев происходит как в пропан-кислородном, так и бутан-кислородном пламени в диапазоне исследованных значений соотношения C/O : 0,75; 0,85; 0,95; 1,05;

- показано, что преимущественно в пламени пропана и бутана при данных условиях наблюдается формирование графеновых слоев в количестве 5-10 слоев;

- при этом наблюдается тенденция увеличения степени неупорядоченности графеновых слоев с ростом соотношения C/O, что характеризуется повышением интенсивности пика D;

- для пропан-кислородной смеси степень неупорядоченности наблюдается при большем соотношении C/O, чем для бутан-кислородной смеси;

- показано, что на формирование графеновых слоев оказывает влияние величина расхода аргона, подаваемого в пламя.

Литература

1. Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., et al. Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene // *Nature*. – 2005. - V. 438. – P. 197–200.
2. Geim A.K., Novoselov K.S. The rise of graphene // *Nat. Mater.* – 2007. - V 6. – P. 183–91.
3. Елецкий А.В., Искандарова И.М., Книжник А.А. Графены: методы получения и теплофизические свойства // *УФН*. - 2011. - Т. 181, № 3. - С. 233-268.
4. Dato A., Frenklach M. Substrate-free microwave synthesis of graphene: experimental conditions and hydrocarbon precursors // *New Journal of Physics*. – 2010. – V. 12. 125013 (24pp) (Online at <http://www.njp.org/>).
5. Li Z., Zhu H., Xie D. et al. Flame synthesis of few-layered graphene/graphite films // *Chem. Commun.* – 2011. - V. 47. – P. 3520-3522.
6. Memon N.K., Tse S.D., Al-Sharab J.Fet. al. Flame synthesis of graphene films in open environments // *Carbon*. – 2011. - V. 49. – P. 5064-5070.
7. Bockhorn H. (ed). *Soot Formation in Combustion*. Springer, Berlin/Heidelberg. 1994. – 596 p.

FORMATION OF LAYERED GRAPHENE FILMS IN HYDROCARBON FLAME

N.G. Prikhodko, B.T. Lesbayev, M. Auyelkhanqyzy, Y.J. Ospanov, Z.A. Mansurov

Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan

E-mail: nik99951@mail.ru

Abstract

The paper presents the results on the synthesis of graphene films in premixed hydrocarbon flames. The parameters of combustion, catalytic substrate type selected and the vertical orientation of the flame, providing education of the smallest number of layers with the greatest structural regularity. Found that in a hydrocarbon flame on a nickel substrate is formed mainly 5-10 graphene layers. It is shown that when the angle of inclination of the substrate relative to the vertical axis of the flame from 0° to 30° can obtain the minimum number of layers - 2-3 layers. The research on the effect of the ratio C/O and argon flow on the formation of layered graphene films. The formation of graphene layers are investigated in a wide range of values of C/O = 0.75 to 1.05. It is shown that with increasing values of C/O and the amount of argon in the mixture, forming layers of graphene disorder increases.

ЖАЛЫНМЕН БАҒАНДА ГРАФЕНҚА БАТТАРЫНЫҢ СИНТЕЗІ

Н.Г. Приходько, Б.Т.Лесбаев, М. Әуелханқызы, З. А. Мансуров

Жану проблемалар институт, 050012, Қазақстан, Алматы, Бөгенбай батыр көш.,172

E-mail: nik99951@mail.ru

Аннотация

Қағаздыдайын қоспасы көмірсутек жалын графен қабыршақтардың синтездеу нәтижелерін ұсынады. Жану параметрлері, каталитикалық субстрат түрі таңдалған және жалын тік бағдар, ең үлкен құрылымдық тұрақты қабаттарының ең кішкентай санының білуге болды. Никель ұлтанды көмірсутегі жалын негізінен 5-10 бағанында қабаттарын қалыптасады деп табылды. 2-3 қабаттар - Ол 0° 30° дейін жалын тік осіне субстрат қатысты көлбеу бұрышы қабаттарының санын төменгі алуға болады, бұл кезде көрсетіледі. Отын түріне байланысты қабатты графен қабыршақтардың қалыптастыру жөніндегі қатынасы C / O және аргон ағынының әсері туралы зерттеулер. Графен қабаттарының қалыптасуы 1.05 үшін C / O = 0,75 мәндер кең ауқымды зерттелген. Ол графен бұзылуы артып қабаттарын қалыптастыру, бұл C / O және жалын енгізілген аргон сомасының жылы-Қатпарсыз құндылықтармен көрсетіледі.