

НАНЕСЕННЫЕ ПЛАТИНОВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ РЕАКЦИИ ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ 2D-УГЛЕРОДНЫХ СТРУКТУР

© 2020 г. А. П. Возняковский^{a,b,*}, А. Ю. Неверовская^a, А. В. Калинин^a,
А. А. Возняковский^c, Г. А. Николаев^a

^a Научно-исследовательский институт синтетического каучука имени академика С. В. Лебедева,
ул. Гапсальская 1, Санкт-Петербург, 198035 Россия

^b Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
Санкт-Петербург, 190013 Россия

^c Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург, 194021 Россия
*e-mail: voznar@mail.ru

Поступило в Редакцию 9 июня 2020 г.

После доработки 9 июня 2020 г.

Принято к печати 19 июня 2020 г.

Карбонизацией биополимеров в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (на примере крахмала) получены 2D-углеродные структуры. Методами электронной микроскопии, Раман-спектроскопии, дифрактометрии установлено, что структура полученных частиц соответствует графеновым нанопластинам. Анализ данных Раман-спектроскопии позволяет оценить среднее число слоев графена в частице графеновых нанопластин, равное 2–5. Полученные графеновые нанопластины были использованы в качестве носителя платинового катализатора (катализатора Спайера). Нанесенный катализатор был успешно применен в реакции гидросилилирования 1-гексена метилдихлорсиланом. При этом нанесенный катализатор может быть отделен от продуктов реакции и использован повторно. Установлено, что каталитическая активность полученного нанесенного катализатора сохраняется в течение 4 месяцев.

Ключевые слова: биополимеры, деструкция, самоорганизация, наночастицы, катализаторы, реакция гидросилилирования

DOI: 10.31857/S0044460X20100169

Реакция гидросилилирования играет важную роль при формировании сшитых материалов (резин) на основе кремнийорганических полимеров. Например, при формировании изделий, получаемых литьем под давлением, герметиков, покрытий [1, 2]. Этот процесс включает реакцию между сшивающим агентом и концевыми винильными группами полисилоксана в присутствии катализатора, как правило, платинового [3].

В общем случае, сшивка макроцепей по реакции гидросилилирования может быть использована для получения кремнийорганических полимерных материалов на основе любых полисилоксанов и сополимеров на их основе. Несмотря на высо-

кую стоимость платиновых катализаторов, отказаться от их использования до настоящего времени не представляется возможным, поэтому многие исследовательские группы изучают возможность повышения эффективности, снижения стоимости и их повторного использования. Так, установлено, что использование нанесенных катализаторов позволяет увеличить активную поверхность катализатора, экономит дорогостоящие вещества (Pt, Pd), предотвращает рекристаллизацию и спекание активного компонента при высоких температурах, удлиняет срок работы катализатора, а в ряде случаев стабилизирует его в определенной химической форме [4, 5].

Следует отметить, что в настоящее время нанесенный катализатор рассматривают не только как аддитивную систему инертная подложка – активное вещество, но и учитывают возможное влияние структуры подложки на протекание реакции гидросилилирования. В частности, на примере взаимодействия трихлорсилана с ацетиленом было показано, что платина, нанесенная на γ - Al_2O_3 , имеющую кубическую структуру, намного активнее платины, нанесенной на α - Al_2O_3 , имеющую гексагональную структуру. При этом активность катализатора, нанесенного на Al_2O_3 , заметно превышает активность катализатора, нанесенного на древесный уголь. В свою очередь, платина, нанесенная на поверхность высокодисперсного CaCO_3 , полностью теряет каталитическую активность [6–8].

Исходя из сказанного, характеристики катализатора в нанесенном виде по удельно-каталитической активности могут заметно отличаться от исходных [9, 10]. Следует также учитывать, что при равной массовой доле активной (платиновой) компоненты нанесенного катализатора лучшие показатели реакции гидросилилирования достигаются при условии его нанесения на как можно большее число частиц вещества носителя. Иначе говоря, при использовании большего количества нанесенного катализатора с минимально возможным содержанием платины на частице носителя, чем меньшего количества нанесенного катализатора с большей концентрацией платины [11]. С учетом вышеизложенного, наиболее полно требованиям обеспечения высокой эффективности нанесенных катализаторов при проведении реакции гидросилилирования может отвечать использование в качестве подложки нанодисперсных материалов.

В последние десятилетия для практического применения в качестве носителя стали доступны аллотропные формы nanoуглерода (фуллерены, нанотрубки, детонационные алмазы), что открыло новые возможности для увеличения эффективности использования нанесенных катализаторов [12, 13].

Пионерские работы Нобелевских лауреатов А. Гейма и К. Новоселова по получению и изучению графена мотивировали многие исследовательские группы на поиск возможных областей его применения. В частности, графен был успешно

использован в качестве подложки для нанесенных металлов-катализаторов [14, 15]. Тем не менее, несмотря на достигнутые положительные результаты, применение графена в качестве подложки для нанесенных катализаторов до настоящего времени не вошло в реальную синтетическую практику.

Можно предположить, что в первую очередь это связано с недостаточной производительностью современных методов получения 2D-графеновых структур. Анализ доступной нам литературы показал, что, несмотря на различные подходы, практически все используемые методики получения графена основываются на эксфолиации графеновых листов из природного графита – использование метода Хаммерса и его позднейших модификаций [16]. Естественно, что в последнее время делаются попытки найти замену методу Хаммерса с целью предложить более производительные и экологически безопасные методики синтеза графеновых структур [17].

Целью настоящей работы явилось создание доступной методики синтеза 2D-углеродных структур, отвечающих современным вызовам создания нанесенных катализаторов, и демонстрация возможности их использования в реакциях гидросилилирования.

При поиске путей достижения поставленной цели мы исходили из того, что простейшим элементом структуры графена является шестиатомный цикл атомов углерода¹. Поиск источника таких циклов, а также методики инициирования их самоорганизации позволило бы получать 2D-структуры в необходимом масштабе. С этой точки зрения, приемлемым источником нативных циклов являются природные полимеры – полисахариды. Определенным аналогом синтеза 2D-углеродных структур из продуктов деструкции органических веществ является детонационный синтез nanoуглеродов. В условиях детонационного синтеза из продуктов взрывного разложения смеси циклических органических веществ (тринитротолуола и циклотриметилтринитрамина) и последующих процессов самоорганизации формируются кристаллы высокодисперсного алмаза – 3D-углеродные nanoструктуры [18].

¹ Отметим, что по определению IUPAC под термином графен подразумевают единичный лист графита толщиной в один атом. Два и более слоев графена обозначают как многослойный графен (few layer graphene, graphene nanoplatelets).

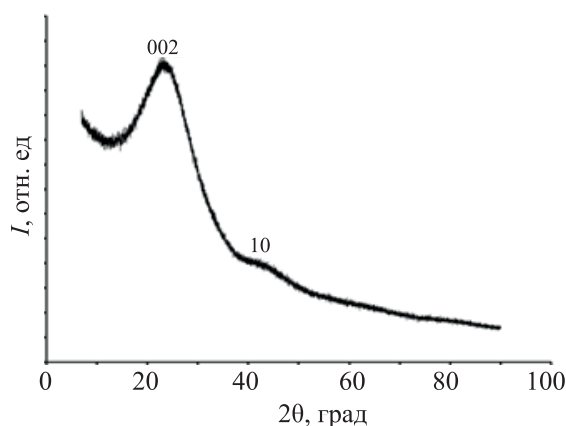


Рис. 1. Дифрактограмма образца, синтезированного методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза из крахмала.

В качестве базового метода синтеза выбрали карбонизацию биополимеров в условиях процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [19]. Химические реакции в условиях процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза протекают по специфическому механизму неизотермических разветвленно-цепных процессов, для которых характерно совместное действие двух принципиально разных ускоряющих процесс факторов – лавинного размножения активных промежуточных частиц и саморазогрева. Разветвленно-цепное воспламенение, в отличие от теплового, вызвано лавинным размножением активных промежуточных продуктов – свободных атомов, радикалов и иногда также возбужденных частиц – в их быстрых реакциях с исходными реагентами и между собой [20]. Физически самораспространяющийся высокотемпературный синтез представляет собой процесс перемещения волны сильной экзотермической реакции по смеси реагентов (окислителя и восстановителя), в котором тепловыделение локализовано в слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи. Типичными характеристиками процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза являются: скорость распространения фронта пламени 0.1–20 см/с; максимальная температура горения 2300–3800 К; скорость нагрева вещества в волне 103–106 град/с. Для проведения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза не требуется уникальное аппаратное оформление, нет принципиальных масштабных

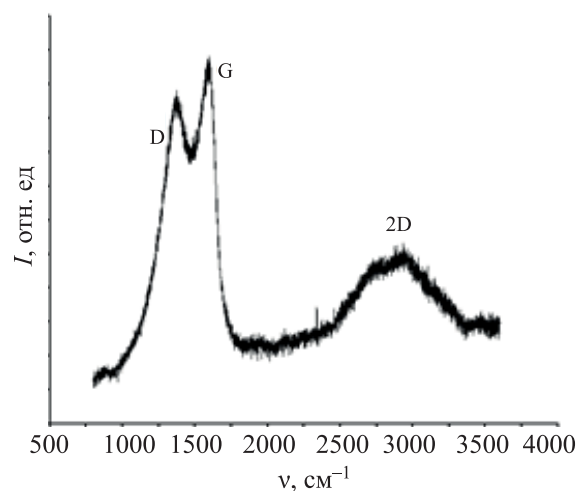


Рис. 2. Рамановский спектр порошка карбонизированного крахмала в разных точках образца.

ограничений. Также в случае самораспространяющегося высокотемпературного синтеза нет необходимости постоянного подвода энергии от внешних источников. Кроме того, имеется возможность проведения синтеза в любой атмосфере или в вакууме, что позволяет получать конечный продукт с заранее заданными свойствами.

Полученный карбонизацией крахмала в процессе самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материал представлял собой сухой черный порошок.

Следует отметить, что широко применяемые для карбонизации крахмала методы, такие как гидротермальный синтез или пиролиз, приводят к образованию сферических структур [23, 24]. Однако синтезированный материал представляет собой пластинчатые малослойные структуры. Для изучения фазового состава материала, он был исследован методом рентгеновской дифрактометрии. Дифрактограмма порошка карбонизированного крахмала (рис. 1) демонстрирует наличие (002) дифракционного пика (гало) при $2\theta = 23.76^\circ$ и (10) дифракционного пика при $2\theta = 42.74^\circ$. Следует отметить отсутствие на дифрактограмме узкого высокоинтенсивного пика графита при 26° , а также пика при 10° , характерного для оксида графена [25, 26]. В то же время полученная дифрактограмма хорошо соответствует таковой, представленной в литературе для графеновых нанопластинок (графеновые нанопластины) [27].

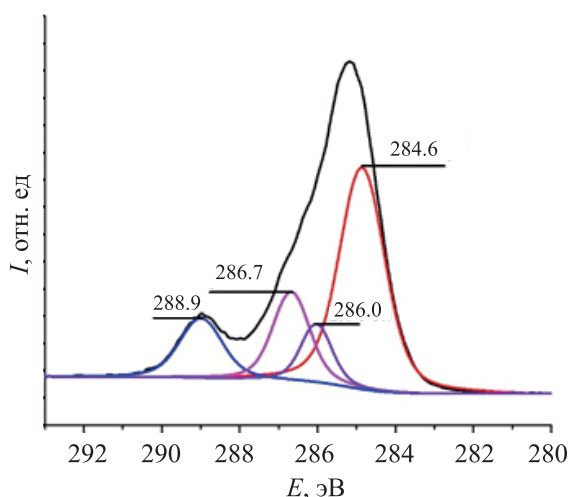


Рис. 3. XPS-Спектр графеновых нанопластин синтезированных методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза.

Для уточнения структуры синтезированного материала были проведены исследования методом просвечивающей электронной микроскопии. Согласно полученным данным, исследуемые структуры имеют типичную для графеновых нанопластин гексагональную структуру.

Для уточнения качества полученных графеновых нанопластин были получены Раман-спектры (рис. 2). Спектр, представленный на рис. 2, является типичным для 2D-графеновых структур. В них регистрируются полосы, соответствующие модам кластеров sp^2 -углеродной фазы, так называемые, $D(A_{1g})$ и $G(E_{2g})$ моды при ~ 1373 и ~ 1600 cm^{-1} соответственно. G-Полоса обусловлена валентными колебаниями связей углерод–углерод, в то время как D-полоса связана с дефектами структуры графена [28]. Отношение I_d/I_g составляет 0.93. В работах [29, 30] показано, что по форме 2D-пика в Раман-спектре можно определить количество слоев в графеновой пачке. Исходя из полученного спектра можно утверждать, что количество графеновых слоев в синтезированном материале не

Данные элементного анализа катализатора Pt/GNP

Элемент	Содержание	
	мас%	ат%
C	74.48	90.15
O	9.21	8.50
Ca	0.23	0.09
Pt	16.08	1.26

превышает 5. Таким образом, по совокупности полученных экспериментальных данных можно обоснованно сделать вывод, что примененный нами метод карбонизации крахмала позволяет получить 2D-углеродные (графеновые) структуры, а именно графеновые нанопластины.

Поверхностные свойства синтезированных графеновых нанопластин были исследованы методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) (рис. 3). Разложение полученного XPS-спектра демонстрирует sp^2 -пик (284.9 эВ [31]). Также в спектре присутствуют пики СОН-групп (286.4 эВ [32]), а также СООН-групп (288.9 эВ [33]), что соответствует группам на концах графеновых листов.

Полученный на основе графеновых нанопластин нанесенный катализатор (Pt/GNP) был исследован методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, результаты которого представлены в таблице. По данным элементного анализа можно заключить, что в среднем содержание платины в Pt/GNP составляет 16.08 мас%.

Естественно ожидать, что свойства графеновых материалов зависят от конкретной методики их получения. Соответственно, возможность использования нашего материала в качестве подложки нанесенных катализаторов требовала экспериментальной проверки.

В качестве модельного катализатора был выбран катализатор Спайера. Хотя катализатор Спайера был разработан еще в 1957 г., он до сих пор является одним из самых эффективных металлокомплексных катализаторов процесса гидросилилирования и не потерял своей актуальности до настоящего времени (см., например, [34]).

Для тестирования была выбрана хорошо известная реакция гидросилилирования неразветвленного терминального олефина (в нашем случае, 1-гексен) метилдихлорсиланом [35, 36]. Для проведения реакции в ампулу загружали смесь реагентов в эквимольном соотношении. Катализатор Pt/GNP добавляли из расчета (0.5–1) г/атом Pt на моль реагента. Ампулу с полученной реакционной массой продували сухим аргонem и запаивали. Для инициации процесса ампулу нагревали до 60°C в течение 10 мин. После прогрева ампулу оставляли на 5 ч при комнатной температуре,

затем вскрывали. Катализатор отделяли центрифугированием, целевой продукт анализировали методом газо-жидкостной хроматографии. Показано, что гидросилилирование идет практически с количественной конверсией, непрореагировавшие реагенты зафиксированы лишь в следовых количествах.

Таким образом, применение полученного гетерофазного катализатора Pt/GNP для выбранной системы полностью воспроизводит результаты реакции гидросилилирования с использованием катализатора Спайера в условиях гомофазного катализа.

Особый интерес представляла возможность повторного использования катализатора. С этой целью, выделенный из продуктов реакции центрифугированием и промытый толуолом катализатор Pt/GNP использовался для последующих синтезов. Всего было проведено четыре аналогичных синтеза с интервалом в один месяц. Проведенные эксперименты показали, что полученный нанесенный катализатор Спайера сохраняет свою активность и стабильность в процессе гидросилилирования при многократном использовании в течение длительного времени.

Таким образом, установлено, что полученный карбонизацией крахмала в условиях процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза карбонизированный продукт представляет из себя графеновые нанопластины. Платиновый катализатор Спайера, нанесенный на частицы графеновых нанопластин, обладает высокой каталитической активностью, способностью к регенерации и стабильностью параметров при длительном хранении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Использовали крахмал и нитрат аммония производства Sigma Aldrich. Обработку взвесей ультразвуком проводили в УЗ ванне Сапфир при мощности 50 Вт (22 кГц). Для повторного использования нанесенный катализатор отделяли от продуктов реакции центрифугированием (центрифуга SIGMA 6-16, 8000 об/мин). Электронные микрофотографии нанесенного катализатора и продукта карбонизации крахмала получены с помощью растрового электронного микроскопа Supra55VP (Carl Zeiss, Zeiss AG). Электронные микрофотогра-

фии продукта карбонизации крахмала получены на просвечивающем электронном микроскопе Zeiss Libra 200FE (50 эВ). Исследования методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (SEM-EDX) проводили на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Mira-3M, оснащенном EDX приставкой Oxford Instruments X-max. Исследования методом рентгеновской дифрактометрии проводили на дифрактометре Shimadzu XRD 7000 в диапазоне углов $2\theta = 10\text{--}100^\circ$ с шагом 0.02° и экспозицией в точке 1 с. Раман-спектры снимали на приборе Horiba Yobin Yvon LabRam HR 800, лазер 532 нм, дифракционная решетка 1800 штрихов на мм, микрорама (микроскоп, увеличение 20×). Измерения методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) проводили на приборе Thermo Scientific K-alpha device. Газовая хроматография выполнена на хроматографе Clarus 500 PerkinElmer, температура колонки – 145°C , температура детектора – 250°C , температура испарителя – 250°C , газ-носитель – гелий, скорость газа-носителя – 30 мл/мин.

Карбонизация. Крахмал и азотнокислый аммоний в соотношении 2:1 [21], перемешивали в устройстве типа «пьяная бочка» до получения однородной смеси. Полученную смесь помещали в термостойкий сосуд и нагревали со скоростью 20–30 град/мин до температуры 180–200°C. О прохождении реакции судили по началу и окончанию процесса интенсивного газовыделения. После начала интенсивного газовыделения обогрев отключали, реакция продолжалась в автономном режиме. Полученный продукт последовательно промывали горячей дистиллированной водой и изопропанолом, сушили в вентилируемом термостате 2 ч при 80°C . Высушенный продукт хранили в герметично закрытой таре.

Выбор катализатора. В качестве модели использовали катализатор Спайера (0.1 М. раствор гексагидрата платинохлористоводородной кислоты в изопропанол) [22], который получали растворением 0.45 г $\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (1.09×10^{-3} моль) в 100 см³ изопропанола. Концентрация полученного раствора составляла $\sim 1.1 \times 10^{-2}$ моль/дм³.

Получение нанесенного катализатора. Навеску графеновые нанопластины массой 2.4 г при постоянном перемешивании вводили в круглодонную колбу с 100 см³ свежеприготовленного ката-

лизатора Спайера. Полученную взвесь последовательно дегазировали от растворенного воздуха и озвучивали в течение 15 мин. Далее полученная суспензия выдерживалась под вакуумом водоструйного насоса при 40°C до полного удаления изопропилового спирта. Масса извлеченного из колбы сухого черного порошка Pt/GNP составила 2.8 г.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность Н.К. Скворцову (Санкт-Петербургский государственный технологический институт) за полезную дискуссию при обсуждении результатов процесса гидросилирования.

ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена в рамках государственных тематических исследований Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе (тема № 0040-2014-0013, А.А. Возняковский) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-29-24129мк, А.П. Возняковский, А.Ю. Неверовская).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Lewis L.N., Wengrovius J.H., Burnell T.B., Rich J.D. // Chem. Mater. 1997. Vol. 9. P. 761. doi 10.1021/cm960465h
- Batch G.L., Macosko C.W., Kemp D.N. // Rubber Chem. Technol. 1991. Vol. 64. N 2. P. 218. doi 10.5254/1.3538554
- Noll W. Chemistry and technology of silicones. London: Academic Press Inc., 1968.
- Wei Z., Hou Y., Yang Y., Liu Y. // Curr. Org. Chem. 2016. Vol. 20. N 20. P. 2055. doi 10.1038/srep15664
- Стайлз Э.Б. Носители и нанесенные катализаторы. Теория и практика М.: Химия, 1991.
- Wagner G.H. Pat. 2637738 (1953). USA.
- Wagner G.H., Whitehead W.J. Pat. 2851473 (1958). USA.
- Pougel E., Tonnar J., Lucas P., Lacroix-Desmazes P., Ganachaud F., Boutevin B. // Chem. Rev. 2010. Vol. 110. P. 1233. doi 10.1021/cr8001998
- Eremin D.B., Ananikov V.P. // Coord. Chem. Rev. 2017. Vol. 346. P. 2. doi 10.1016/j.ccr.2016.12.021
- Fraga M.A., Jordao E., Mendes M.J., Freitas M.M.A., Faria J.L., Figueiredo J.L. // J. Catalysis. 2002. Vol. 209. P. 355. doi 10.1006/jcat.2002.3637
- Wagner G.H. Pat. 2637738 (1953). USA.
- Nanocarbon And Its Composites: Preparation, Properties And Applications / Eds A. Khan, M. Jawaid, A.M. Asiri. Duxford: Woodhead Publishing, 2018.
- Ismagilov Z.R., Kerzhentsev M.A., Shikina N.V., Lisitsyn A.S., Okhlopkova L.B., Barnakov Ch.N., Sakashita M., Iijima T., Tadokoro K. // Catalysis Today. 2005. Vol. 102–103. P. 58. doi 10.1016/j.cattod.2005.02.007
- Lonkar S.P., Abdala A.A. // J. Thermodyn. Catal. 2014. Vol. 5. N 2. P. 132. doi 10.4172/2157-7544.1000132
- Huang C., Li C., Shi G. // Energy Environ. Sci. 2012. Vol. 5. P. 8848. doi 10.1039/C2EE22238H
- Елецкий А.В., Искандарова И.М., Книжник А.А., Красиков Д.Н. // Усп. физ. наук. 2011. Т. 181. № 3. С. 233; Eletskiy A.V., Iskandarova I.M., Knizhnik A.A., Krasikov D.N. // Physics Uspekhi. 2011. Vol. 54. N 3. P. 227. doi 10.3367/UFNr.0181.201103a.0233
- Gao Y., Shi W., Wang W., Wang Y., Zhao Y., Lei Z., Miao R. // Ind. Eng. Chem. Res. 2014. Vol. 53. P. 2839. doi 10.1021/ie402889s
- Волков К.В., Даниленко В.В., Елин В.И. // Физика горения и взрыва. 1990. Т. 26. № 3. С. 123.
- Мержанов А.Г. Твердопламенное горение. Черноголовка: ИСМАН, 2000.
- Азатян В.В. // Усп. хим. 1999. Т. 68. № 12. С. 1122.
- Савкин Д.И., Щучкин М.Н., Возняковский А.П., Шаманин В.В. Пат. 2516542 (2012). РФ.
- Speier J.L., Hook D.E. Pat. 2823218 (1958). USA.
- Zhao M., Li B., Cai J.-X., Liu Ch., McAdam K.G., Zhang K. // Fuel Processing Technology. 2016. Vol. 153. P. 43. doi 10.1016/j.fuproc.2016.08.002
- Xue Zh., Chen P., He L. // Int. J. Mater. Res. 2015. Vol. 106. N 11. P. 1196. doi 10.31 V.10639/146.111295
- Vongsetskul T., Prakulpanong P., Sirisomboon P., Tantirungrotechai J., Surasit C., Tangboriboonrat P. // Thermal Sci. 2017. Vol. 21. N 5. P. 2227. doi 10.2298/TSCI150312199V
- Siburian R., Sihotang H., Lumban Raja S., Supeno M., Simanjuntak C. // Orient. J. Chem. 2018. Vol. 34. N 1. P. 182. doi 10.13005/ojc/340120
- Johra F.T., Lee J.W., Jung W.-G. // J. Indust. Eng. Chem. 2014. Vol. 20. N 5. P. 2883. doi 10.1016/j.jiec.2013.11.022
- Ferrari A.C. // Solid State Commun. 2007. Vol. 143. P. 47. doi 10.1016/j.ssc.2007.03.052
- Obratsova E.A. // Phys. Stat. Sol. (B). 2008. Vol. 245. N 10. P. 2055. doi 10.1002/pssb.200879657
- Ferrari A.C. // Phys. Rev. Lett. 2006. Vol. 97. N 18. P. 187401. doi 10.1103/PhysRevLett.97.187401
- Wang H // J. Colloid Interface Sci. 2007. Vol. 316. N 2. P. 277. doi 10.1016/j.jcis.2007.07.075

32. Petrov I. // *Diamond Relat. Mater.* 2007. Vol. 16. N 12. P. 2098. doi 10.1016/j.diamond.2007.05.013
33. Li M. // *Carbon.* 2008. Vol. 46. N 3. P. 466. doi 10.1016/j.carbon.2007.12.012
34. Speler J.L. // *Adv. Organometal. Chem.* 1979. Vol. 17. P. 407. doi 10.1016/S0065-3055(08)60328-7
35. Лукевиц Э.Я., Воронков М.Г. Гидросилилирование, гидрогермилирование, гидростаннилирование. Рига: Изд. АН Латв. ССР, 1964.
36. Пухнаревич В.Б., Лукевиц Э.Я., Копылова Л.И., Воронков М.Г. Перспективы гидросилилирования. Рига: Изд АН Латвии, 1992.

2D-Carbon-Supported Platinum Catalysts for Hydrosilylation Reactions

A. P. Voznyakovskii^{a,b,*}, A. Yu. Neverovskaya^a, A. V. Kalinin^a,
A. A. Vozniakovskii^c, and G. A. Nikolaev^a

^a S. V. Lebedev Research Institute of Synthetic Rubber, St. Petersburg, 198035 Russia

^b St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University), St. Petersburg, 190013 Russia

^c Ioffe Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, 194021 Russia

*e-mail: voznap@mail.ru

Received June 9, 2020; revised June 9, 2020; accepted June 19, 2020

2D-Carbon structures were obtained by carbonization of biopolymers (starch) under conditions of self-propagating high-temperature synthesis. By electron microscopy, Raman spectroscopy, and diffractometry data, structure of the obtained particles corresponds to graphene nanoplates. An analysis of the Raman spectroscopy data makes it possible to estimate the average number of graphene layers in a particle of graphene nanoplates, equal to 2–5. The obtained graphene nanoplates were used as a support for a platinum catalyst (Speier catalyst). The supported catalyst was successfully used in the hydrosilylation of 1-hexene with methyldichlorosilane. In this case, the supported catalyst can be separated from the reaction products and reused. It was found that the catalytic activity of the obtained supported catalyst will be retained for 4 months.

Keywords: biopolymers, destruction, self-organization, nanoparticles, catalysts, hydrosilylation reaction