

## АМОРФНЫЙ УГЛЕРОД В НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ (СОВМЕСТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЭМ, РФЭС, СКР И РФА)

<sup>a</sup>Кузнецов В.Л., <sup>a</sup>Мосеенков С.И., <sup>a</sup>Золотарев Н.А., <sup>a,b</sup>Колесов Б.А., <sup>a</sup>Просвирина И.П.,  
<sup>a</sup>Ищенко А.В., <sup>a</sup>Заворин А.В.

<sup>a</sup>Институт катализа им. Г.К.Борескова, Новосибирск, Россия

<sup>b</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

Углеродные наноматериалы (нанотрубки, графены и их производные, наноалмазы и др.) становятся более востребованными в производстве и технике, за счёт своих уникальных физико-химических свойств, а именно хорошей электрической проводимости, высокой прочности и теплопроводности. Вместе с тем, углеродные материалы могут содержать на своей поверхности примеси аморфного углерода (АУ), который может находиться в различных модификациях в зависимости от условий их получения, и оказывать влияние на взаимодействие углеродных материалов с матрицей композита. В силу этого, при введении углеродных материалов в состав композитов, свойства получаемых материалов могут зависеть от содержания примесей АУ.

Мы провели охарактеризование аморфизованных форм углерода в широком наборе наноструктурированных углеродных материалов (сажа, многослойные углеродные нанотрубки, каталитический волокнистый углерод, углерод луковичной структуры, взрывные наноалмазы). АУ состоит из атомов углерода в трёх основных электронных состояниях, соответствующих  $sp$ ,  $sp^2$  и  $sp^3$  гибридизации электронных оболочек. Поскольку  $sp^2$  формы углерода в обычных условиях термодинамически являются наиболее устойчивыми, то они являются основными строительными блоками АУ. В силу этого основные усилия были направлены на охарактеризование  $sp^2$  фрагментов аморфного углерода с использованием трёх независимых физических методов (ПЭМ, СКР и РФА), позволяющих получить взаимодополняющую информацию.

Использование высокотемпературных обработок, приводящих к укрупнению первичных графеновых блоков, позволило проследить за процессом их графитизации. Размеры графеновых фрагментов сажи, прогретой при разных температурах, были оценены при помощи ПЭМ и СКР. При нагреве всех УМ при использовании ПЭМ наблюдалось увеличение протяженности графеновых фрагментов, числа слоев в образующихся графитоподобных блоках, при этом в спектрах КР наблюдалось уменьшение  $D_1$  мод и увеличение  $G$  и  $2D$  колебательных мод, что свидетельствует о графитизации УМ. Для количественной обработки КР спектров была выбрана модель, предложенная в работе [1], более подходящая для оценки размеров протяжённых графеновых фрагментов сажи.

По причине неоднородности аморфного углерода при обработке КР спектров в районе моды  $D_3$  (колебания аморфного углерода) было выделено два пика ( $\sim 1454 \text{ см}^{-1}$  и  $1523 \text{ см}^{-1}$ ), что, по-видимому, соответствует различным формам АУ. Из результатов обработки КР спектров (анализ  $D$  мод колебаний, их соотношение) было показано, что природа и количество углерода в аморфном состоянии существенно различается для разных типов УМ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ 22-23-00932.

### Библиографические ссылки

1. Tuinstra F., Koenig J.L. / J. Chem Phys. 1970. Vol. 53. P. 1126–1130.