

## Сравнительное исследование аморфного углерода в наноструктурированных углеродных материалах

*Мосеенков С.И.<sup>1</sup>, Кузнецов В.Л.<sup>1</sup>, Золотарев Н.А.<sup>1</sup>, Колесов Б.А.<sup>2</sup>, Просвирин И.П.<sup>1</sup>, Ищенко А.В.<sup>1</sup>, Заворин А.В.<sup>1</sup>*

*moseenkov@catalysis.ru*

<sup>1</sup> Институт катализа им. Г.К.Борескова СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, д.5, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, пр. Ак. Лаврентьева, д.3, Новосибирск, Россия

Углеродные наноматериалы (нанотрубки, графены и их производные, наноалмазы и др., УМ) 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.

В работе проведено 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. Поэтому, основные усилия были направлены на охарактеризование  $sp^2$  фрагментов аморфного углерода с использованием независимых физических методов: просвечивающей электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния и рентгенофазового анализа.

Использование высокотемпературных обработок, приводящих к укрупнению первичных графеновых блоков, позволило проследить за процессом их графитизации. 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. 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 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания Института катализа СО РАН (проект FWUR-2024-0034).