

## СИНТЕЗ БИНАРНЫХ МОЛИБДЕНО-УГЛЕРОДНЫХ ЧАСТИЦ ЗА УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ

Вагнер Х.Г.<sup>1</sup>, Емельянов А.В.<sup>2\*</sup>, Еремин А.В.<sup>2</sup>, Яндер Х.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГУ, Геттинген, Германия, <sup>2</sup>ИТЭС ОИВТ РАН, Москва, Россия

\*aemelia@ihed.ras.ru

Для синтеза нанокристаллов с заданными свойствами необходимо знать температурную зависимость механизма роста наноструктур. Широкие возможности для этого предоставляют эксперименты на ударной трубе, в которых легко можно изменять температуру и давление в широком диапазоне.

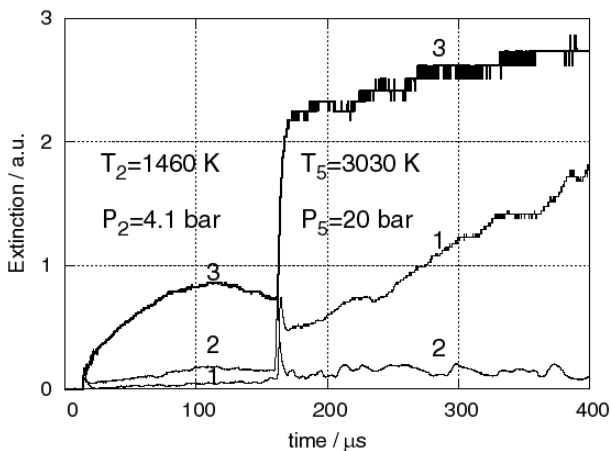
В этой работе исследовалось формирование бинарных наночастиц Мо–С при пиролизе смесей  $\text{Mo}(\text{CO})_6 + \text{C}_3\text{O}_2$  за ударными волнами. Недокись углерода  $\text{C}_3\text{O}_2$  является одним из лучших веществ, для образования пересыщенного углеродного пара [1], а переходные металлы, как известно, являются активными катализаторами роста углеродных частиц. Недавние наблюдения [2] показали, что при термическом разложении  $\text{Mo}(\text{CO})_6$  могут образовываться углеродные нанотрубки, содержащие металл.

В экспериментах исследовались смеси, состоящие из 0–400 ppm  $\text{Mo}(\text{CO})_6$ , 0–1%  $\text{C}_3\text{O}_2$  в аргоне при температурах  $T = 900\text{--}3000$  К и давлениях  $P = 2\text{--}30$  бар. Процесс роста конденсированных частиц за ударными волнами регистрировался посредством многоканальных измерений экстинкции в видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Чтобы сохранить структуру только что сформировавшихся частиц, они мгновенно охлаждались в сверхзвуковой струе, вытекающей из сопла, установленного в торце ударной трубы, и осаждались прямо на специальные сетки для исследования их на электронном микроскопе. Структура полученных частиц была проанализирована на электронном микроскопе.

Полученные результаты показали, что интенсивный процесс формирования частиц наблюдается уже при температуре 1000 К и продолжается до температур более чем 3000 К. На рис. 1 показано сравнение типичных профилей экстинкции, наблюдаемых в  $\text{C}_3\text{O}_2$ ,  $\text{Mo}(\text{CO})_6$  и их смесях. Можно видеть, что выход частиц молибдена за падающей ударной волной достаточно слаб, который ещё более уменьшается за отраженной ударной волной. В противоположность этому, углеродные частицы медленно появляются только за отраженной ударной волной. Бинарные частицы Мо–С интенсивно растут уже за падающей ударной волной и сохраняются за отраженной ударной волной.

Электронно-микроскопический анализ показал, что частицы состоят из двух различных частей. Внутри углеродной частицы внедрен молибден или ядро карбида молибдена. Они выглядят как темные пятна, без какой-либо структуры. Эти пятна статистически распределены в углеродных частицах и являются в основном сферическими с различными размерами. Одна углеродная частица может содержать один или несколько

(до семи) ядер молибдена. Размер ядер молибдена изменяется в пределах 5–20 нм, в то время как размер целых частиц значительно больше (до 50 нм).



**Рис. 1.** Сравнение профилей экстинкции He–Ne лазера (633 нм) за падающей и отраженной ударной волной в смесях 1% $C_3O_2$  + Ar (1), 400 ppm  $Mo(CO)_6$  + Ar (2) и 400 ppm  $Mo(CO)_6$  + 1% $C_3O_2$  + Ar (3).

Работа поддержана грантами РФФИ и DFG.

1. Deppe J., Emelianov A., Eremin A., Shumova V., Wagner H.G., Zaslanko I // Proc. of the 23 ISSW, Texas, USA. 2001. V.1. P.233–239.
2. Motiei M., Calderon-Moreno J., Gedanken A. // Chem. Phys. Lett. 2002. V.357. P.267–271.