

**ФРАКТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ФУЛЛЕРИТА***И.В.Золотухин<sup>1)</sup>, Л.И.Янченко, Е.К.Белоногов**Воронежский государственный технический университет  
394026 Воронеж, Россия*

Поступила в редакцию 7 апреля 1998 г.

Получены макроскопические фрактальные агрегаты фуллерита размером от 100 до 400 мкм. Фрактальная структура фуллерита образуется из микроскопических (30-100 нм) кристалликов фуллерита в условиях градиента температур и реализации механизма диффузионно-ограниченной агрегации.

PACS: 61.43.Nv

В последнее время всеобщий интерес вызывают фрактальные структуры различных веществ как объекты с необычными физическими свойствами. С этой точки зрения привлекает внимание новая модификация углерода - фуллерит, кристаллическая решетка которого - ГЦК – образована из молекул углерода  $C_{60}$ . Обычно поликристаллический фуллерит образуется в результате выпаривания неполярных растворителей (бензола, толуола,  $CS_2$  и т.д.), содержащих молекулы  $C_{60}$ . Для формирования фрактальной структуры фуллерита необходимо создать неравновесные условия и возможность беспорядочного блуждания образующихся частиц. С этой целью насыщенный раствор смеси  $C_{60}$  и  $C_{70}$  (85:15) в толуоле (растворимость  $2.8 \text{ мг/см}^3$ ) нагревался до  $100^\circ \text{C}$ . В нагретый раствор погружалась полированная пластина кремния с высотой неровностей, не превышающих 10 нм. Образование фрактальных структур фуллерита осуществлялось в процессе охлаждения раствора фуллеренов в толуоле в течение 1–1.5 ч. Затем кремниевая пластина извлекалась, и после испарения толуола, структура осадка изучалась с помощью оптического микроскопа МИМ-7.

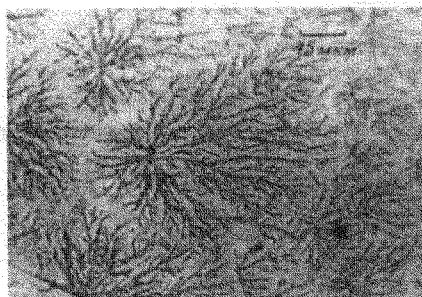
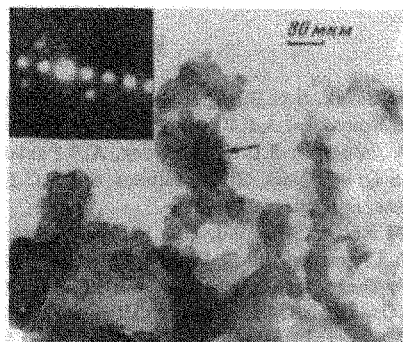


Рис.1. Фрактальная структура фуллерита

Рис.2. Микроструктура и электронограмма  $C_{60}$ <sup>1)</sup> e-mail: paul@zolot.vrn.ru

Полученные картины осадков представлены на рис.1. Видны хорошо сформированные макроскопические фрактальные агрегаты, имеющие размеры от 100 до 400 мкм, высоту в центре  $\sim 20$  мкм, уменьшающуюся по мере удаления к краям. Для различных фрактальных агрегатов фрактальная размерность  $D$ , определяемая методом сеток, оказалась в пределах:  $D = 1.5 - 1.75$ . Фрактальные агрегаты фуллерита подобного типа и размеров получены также на поверхности свежего скола флогопита, монокристаллического графита и полированной фольги алюминия.

Чтобы определить микроскопическую структуру полученных фрактальных агрегатов, выращивались фракталы вышеописанным методом на медной сеточке, служащей в качестве объекта-держателя в электронном микроскопе. Результаты электронно-микроскопического исследования фрактальных структур фуллерита на просвет и в режиме дифракции представлены на рис.2.

Точечная электронограмма соответствует веществу с ГЦК - решеткой и параметром  $a = 1.4 \pm 0.1$  нм, то есть фуллериту  $C_{60}$ . Экспериментально наличие фуллерита  $C_{70}$  не выявлено. Возможно, это связано с тем, что раствор достигает насыщения по компоненте  $C_{60}$  значительно раньше, чем по  $C_{70}$ . Поэтому на начальных этапах происходит кристаллизация  $C_{60}$  в виде отдельной фазы. Из картины на просвет видно, что фрактальная структура фуллерита является объемной и состоит из кристалликов, имеющих размеры от 30 до 100 нм. На отмеченном стрелкой крупном кристаллике разрешены двойники с границей двойникования [111]. Видны также поры от 30 до 120 нм. Таким образом, фрактальные агрегаты образованы из кристалликов фуллерита. Относительно механизма образования фрактальной структуры фуллерита можно сказать следующее. Как известно [1,2], растворимость  $C_{60}$  в толуоле при повышении температуры до  $100^\circ\text{C}$  уменьшается в несколько раз. В этом случае из пересыщенного раствора фуллеренов в толуоле выпадают кристаллики фуллерита, которые совершают броуновское движение в объеме жидкости, то есть образуется коллоидная суспензия, когда взвешенные в жидкости твердые частицы не оседают под действием сил тяжести. При попадании на подложку или стенки сосуда в условиях градиента температур реализуется механизм диффузионно-ограниченной агрегации [3], приводящий к образованию на поверхности гладких подложек фрактальных структур фуллерита. В заключение выражаем благодарность В.Н.Безмельницыну за предоставление фуллеренов.

- 
1. R.S.Ruoff et al., J. Phys. Chem. **97**, 379 (1993).
  2. В.Н.Безмельницын, А.В.Елецкий, М.В.Окунь, Е.В.Степанов, Изв. РАН, сер. хим., **60**, №9, 18 (1996).
  3. S.R.Forrest and T.A.Witten, J. Phys. A: Math. Gen. **12**, L109 (1979).