

МОРФОСТРУКТУРЫ НАНОЧАСТИЦ КРЕМНИЕВЫХ И УГЛЕРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

(Представлена академиком НАН РК К.А. Жубановым)

Морфоструктуры наноразмерных частиц оксидов кремния и конденсированного углеродистого вещества имеют общие закономерности формирования: «полимерная» и «кластерная» фазы, надмолекулярные упаковки, смешанные структуры. Предложена схема построения морфоструктур, из которой следует цикличность образования морфологических видов наноразмерных частиц.

На протяжении ряда лет методами просвечивающей электронной микроскопии в лабораторияхnanoуглеродных материалов КазНУ им. аль-Фараби и микро-наноминералогии ИГН им. К.И. Сатпаева исследуются частицы нанодиапазона, образующиеся в различных условиях. Исторически сложилось так, что изучение кремнистых соединений имеет более древние корни. Современные «высокие» технологии нуждаются в изучении как кремнистых, так и углеродистых частиц на новом наноразмерном уровне. Уникальность наночастиц обусловлена не только размерностью частиц, но и новыми свойствами, зачастую определяемыми строением поверхности частиц и материалов.

Исследование наноразмерных кремнеоксидных и конденсированных углеродных образований позволило выявить некоторые общие характеристики не только для наноразмерных частиц, но и для морфоструктур, создаваемых ими. Оба класса материалов представлены широким спектром веществ, например: по фракциям – от наноразмерных частиц порошков – до крупных индивидов (макрокристаллов), по структуре – от аморфных (рентгеноаморфных) масс – до кристаллов. Подобие морфоструктурных особенностей

частиц оксидов кремния и конденсированного углерода, сходство многих физико-химических свойств инициировало постановку задачи: поиск общих закономерностей их образования и существования.

1. Для оксидов кремния установлены термодинамические характеристики условий существования различных устойчивых фаз и определены их некоторые морфологические особенности. Например, в классической литературе хорошо разработан вопрос происхождения (генезиса) диоксидов кремния и их взаимопревращений. При потере воды частицы оксидов кремния претерпевают ряд сложных фазовых трансформаций (кремнегель, кремнезоль, опаловые структуры, кристобалит-тридимит- кварцевый ряд). Наиболее стабильной [1] во всех формах окиси кремния является минимальная по длине Si – O связь. Всё разнообразие получаемых продуктов при дегидратации диоксида кремния связано с появлением различных исходных структурообразующих элементов $\text{Si}_{m,n}\text{O}_n$. Это могут быть обособленные молекулы, способные полимеризоваться, где m,n могут принимать различные значения, и жесткие кластерные структуры, где m,n должны иметь строго определённые значения. Трансфор-

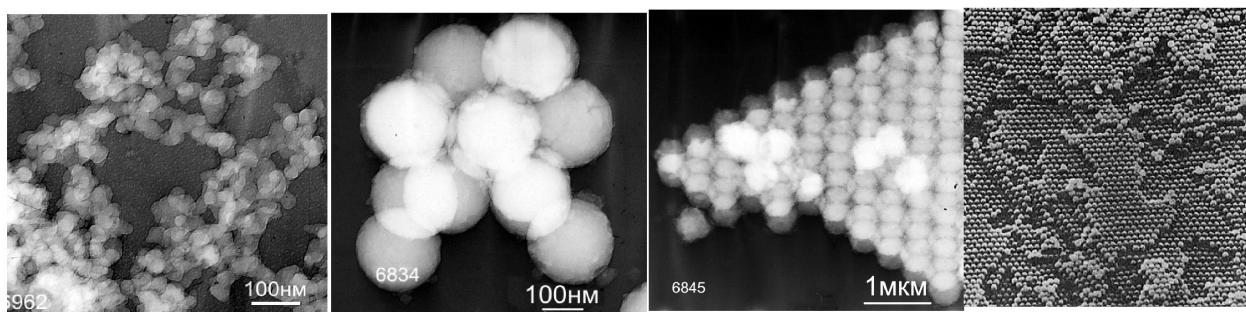


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки. Разветвлённые агрегаты – а и сфероиды – б. Двумерные пленки из сфероидов – в, трехмерные опаловые структуры – г

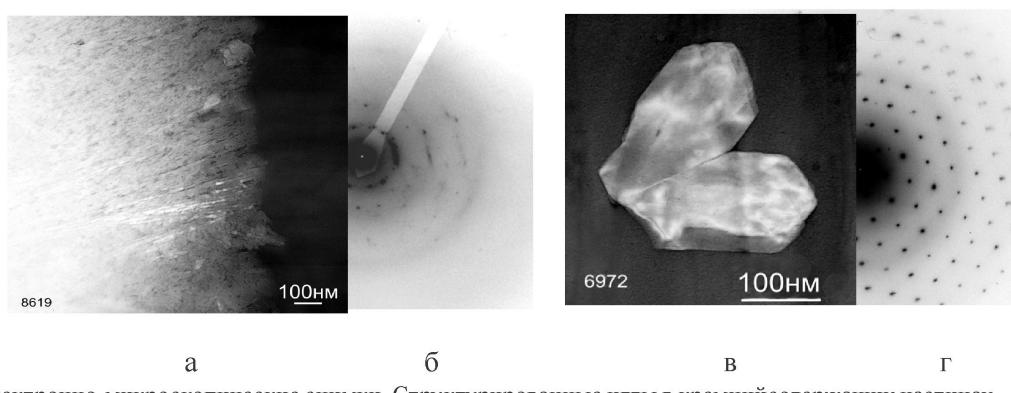


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки. Структурированные иглы в кремнийсодержащих частицах – а, их электронограмма – б: на фоне размытых колец от электроно-аморфного кремнийсодержащего вещества видны рефлексы от регулярных структур. Сросток «плоскостных» наноразмерных частиц кварца – в, электронограмма от кристаллографии – г.

б – структуры, образованные наноразмерными кластерами оксидов кремния.

мация гидратов оксидов кремния может привести к образованию двух структурно различных систем.

а) – порошки, образованные полимеризованными наноразмерными частицами оксидов кремния. Нанопорошки этого вида не обладают периодичностью упаковки структурных Si_mO_n элементов: состоят, как правило, из наноразмерных частиц округлой формы (встречаются облачно – волокнистые образования), и обычно являются рентгеноаморфными (различного вида коллоидные системы, частицы опалов, белые сажи). Эти вещества обычно используют в качестве наполнителей или адсорбентов.

Существует модель [2] показывающая, что разновидности осаждаемого кремнезема зависят от степени структурной полимеризации предшествующей жидкой фазы: 1- коллоидные растворы и 2 – сильно разбавленные водные растворы.

В этом (первом) случае рассматривается жидкость сильно полимеризованная по кремнезему, и молекулы будут проявлять интенсивное пе-

рекрестное разветвление. Среди коллоидов кремнезема образуется преимущественно циклическая группа – чаще это шестичленное кольцо с вершинами, попаременно обращенными вниз и вверх. Присутствие в предшествующей жидкости таких шестичленных петель делает кинетически предпочтительным осаждение кольцеобразных структур даже когда термодинамически стабильной фазой является кварц [3,4].

Примером тому могут стать (аморфные) жидкие стёкла или появление двумерно упорядоченных структур, состоящих из округлых (рис. 1б, в) кремнийсодержащих (и др.) частиц. Трёхмерная упорядоченная упаковка глобулярного кремнезёма (рис. 1, г) известна как опаловые структуры [5,6,7]. Отдельные элементы решётки (сфероиды) рентгеноаморфны, однако их регулярное расположение в «сверхрешётке» приводит к проявлению кристаллических свойств. Медленно протекающее (затруднённое) обезвоживание этих квазистабильных в нормальных условиях фаз инициирует [8] появление скрыток-

ристаллических форм кремнезема (рис. 2а, б), и далее могут образоваться мелкозернистые (менее 1 мкм) кварциты (рис. 2в, г): кристобалит и тридимит. То есть, с этой точки зрения, образованию кристаллических структур предшествует фаза полимеризации.

В большинстве окисей кремния (и силикатов) атом кремния окружен четырьмя атомами кислорода, образующими тетраэдр-звено $[SiO_4]^{4-}$; в стицовите и коэсите также наблюдается шестикратная октаэдрическая координация кремневого атома. Разделение атомами кремния двух кислородных атомов даёт в результате цепь, трёх атомов – лист, четырёх атомов – трёхмерную сеть. Расположение $[SiO_4]^{4-}$ и $[SiO_6]^{8-}$ и тенденция этих блоков образовывать трёхмерное структурное строение являются фундаментальными для химии кристаллов окиси кремния. Устойчивые каркасные молекулы SiO_2 , SiO_4 , Si_2O_6 и др., вероятно, подходят под введённое в настоящее время понятие кластер.

Известны два наиболее существенных момента, дающих определение кластера: а – по аналогии с атомом, кластер – это минимальное устойчивое структурное образование, оно включает положительно заряженное ядро и электронные оболочки, заполняемые свободными электронами атомов (магические числа характеризуют условия стабильности); б – молекулярные кластеры состоят из металлического, оксидного или халькогенидного ядра, стабилизированного лигандаами.

Кластеры являются устойчивыми образованиями, имеющими специфическую структуру, жестко связанную «структурными» полями и электронами, и имеют общую для всего кластера дополнительную «внешнюю» электронную оболочку. Из кластеров оксидов кремния (в термодинамической среде, называемой нормальными условиями) могут образоваться дисперсные «кластерные порошки» либо кристаллические структуры, сложенные кластерами. Их минимальная толщина не может быть меньше размера кластера оксида кремния. Кристаллические «супра»-решетки, образованные ими, должны иметь в узлах вместо атомов – кластеры, то есть будут «кластерными решётками». Сохраняя все характеристики решетки, в узлах которой находятся атомы, они должны дополнитель но иметь свои специфические параметры. И те,

и другие имеют «внутреннюю» структуру присущую исходному кирпичику – кластеру, а их электроно- или рентгеноаморфность будет зависеть от способа образования вещества – упорядоченной упаковки кластеров в объёме.

В этом (втором) случае преобразование связано с превращением раствора слабо полимеризованного кремнезема в неполимеризованную жидкость. Пока идет полимеризация, раствор теряет кремний и получает воду. При некоторой критически низкой концентрации и скорости роста не может поддерживаться даже слабая полимеризация, и остаток кремнезема остаётся мономерным. Следует кристаллизация друзового призматического кварца.

Такие системы, образованные на основе мономерных (минимальная структурная единица) жестких «каркасных» структур Si_mO_n , могут встречаться: 1) в виде рыхлых масс – порошков, имеющих кристаллическую упорядоченность в наноразмерных частицах. Это могут быть, например, глины: монтмориллониты, каолиниты и др. (применяются в виде наполнителей и адсорбентов); 2) в виде крупных тел, например – кварца и его производных (применяются в различных отраслях промышленности, в том числе стратегических). Обычно вещества этого типа проявляют кристаллическое строение.

Таким образом, частицы оксидов кремния могут находиться в двух ипостасях: 1 – некристаллические, но при определённых условиях имеющие возможность образовать надмолекулярную квазикристаллическую структуру, подобную опаловой. Они представляют собой порошковые (возможно, стекловидные) фазы, состоящие из атомарно – молекулярных конструкций и имеют тенденцию к полимеризации; их минимальная структурная единица – SiO -, (Si_mO_n) ; $m < n = 1,2,3\dots$). Обычно эти образования содержат примесные фрагменты на основе N, H, CO_n и т. д; 2 – кристаллические образования, состоящие из кластеров Si_mO_n где $m < n$ жестко заданы архитектурой индивидуального кластера. Они могут образовывать: порошки, индивидуальные кристаллы, двойники и сростки.

Исходя из вышесказанного, предлагается схема образования различных морфоструктур (рис. 3). Из этой схемы следует, что самые мелкие морфологические структуры могут быть образованы только упаковкой атомов (ионов)

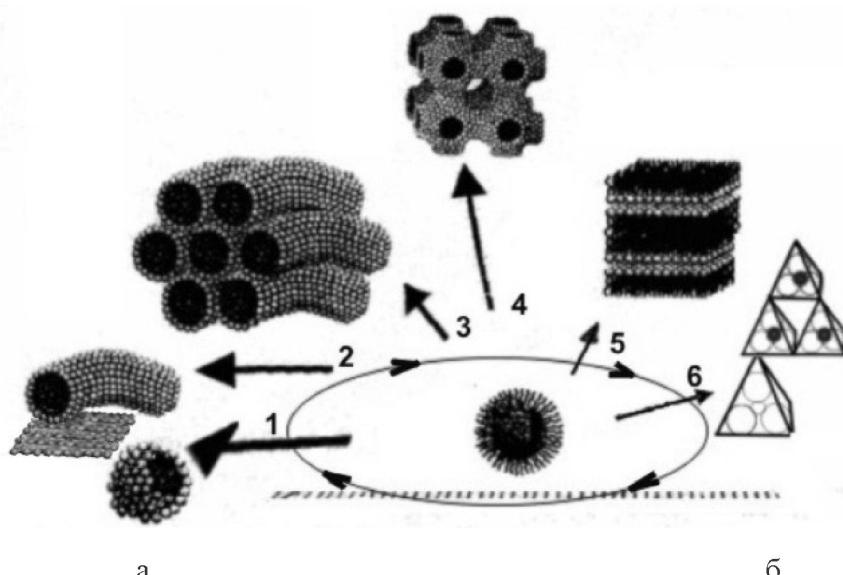


Рис. 3. Схема, образования различных структурных упаковок. а) Отсутствие внутренней периодичности: единичные сфероиды – атомы (на первом этапе); компактные полимерные образования или кластеры (на втором этапе); функциональные соединения (третий этап); Различные виды «супра»-частиц, образующихся из сфероидов (1,2) и их надкристаллические (3,4) и клатратные/смешанные слойные (5) структуры; б) кристаллы (6), образованные единичными атомами (первый этап); молекулами, кластерами (второй этап); и т.д.

(рис.3 – образование в центре эллипсоида). «Элементарные» виды частиц (рис.3 – 1,2) – это пять типов по классификации (морфоструктур конденсированных углеродных частиц, упоминаемой ниже) – сфероиды, трубки, волокна, плоскостные (в т.ч. оболочечные и ленточные) и облачные образования, будут рентгено- (электроно-) аморфными. «Крупные» морфоструктуры, образованные этими «элементарными» исходными формами, могут иметь сверхструктурную упорядоченность (рис.3 – 3,4,5). Изображённые на рисунке 3 кристаллические формы 6 будут, вероятно, ионными кристаллами (разновидность 5 по классификации). Увеличение размеров элементарной структурной единицы (молекула, кластер, функционализированная структурная единица, ..., кольцевые (пентагональные, гексагональные) структуры, каркасная структура (устойчивые силикатные тетраэдры (октаэдры), графит, фуллерены, и т.д) будет приводить к увеличению размеров морфоструктур, создаваемых этими элементами. Таким образом, формируются морфоструктурные разновидности «второго», «третьего», и т.д порядков (всех шести видов, изображённых на схеме).

Следовательно, морфоструктуры «первого порядка» – образованные индивидуальными атомами для молекул и (или) кластеров оксидов

кремния – будут отсутствовать. Архитектурные построения оксидов кремния будут крупнее («второго» и выше порядков) в силу наличия молекулы и специфики образования связи SiO .

II. Другим, достаточно распространённым элементом в природе является углерод и его конденсированные соединения (C_mH_n). Повышенный интерес промышленности к различным углеродсодержащим веществам и углеводородам стимулирует форсированное исследование углеродных субстанций в различных агрегатных состояниях. И, в первую очередь, это касается твердых веществ. Определяются физико-химические характеристики наноразмерных углеродных частиц различных видов и материалов с их участием. Выявлены виды морфоструктур, преобладающих в различных термодинамических обстановках [9,10], показана возможность визуализации процессов их образования [11]. Исследуются различные аспекты функционализации и явления самосборки материалов.

На основании проведённых автором многочисленных наблюдений (ТЭМ, JEM 100CX, $U = 100\text{ kV}$) синтезированных и природных углеродистых наноразмерных частиц проведена классификация [10,12,13] их морфоструктур: выделено семь основных разновидностей, наиболее часто встречающихся в образцах. Шесть из них опре-

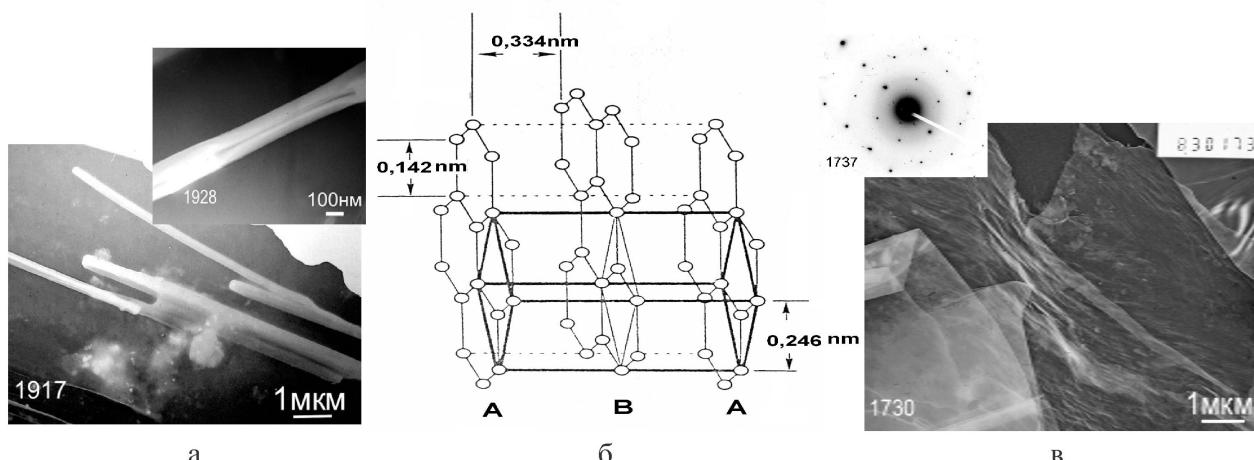


Рис. 4. Тубулены (увеличенный фрагмент, видна внутренняя полость) – а. Схема, образования кристаллической решетки графита – б. Морфология пленок и картина микродифракции от графитовой пленки – в

делены по морфологическим признакам: 1- окружные, 2- трубчатые, 3- волокнистые, 4- плёночные, 5- частицы, имеющие кристаллографически правильные проекции, 6- облачные структуры и одна по характерному свойству: 7- «активные» частицы. Из них только в двух видах: трубчатые частицы и плёнки (возможно, в «кристаллографически правильных») отмечены построения на основе атомов углерода (графитовые). Вероятно, что среди обнаруженных частиц присутствуют построенные атомами углерода графеновые слои и их производные структуры, но морфологически и методами дифракции электронов (среди четырёх дографитовых структур [14]) установить это однозначно достаточно трудно. Как однослойные, так и многослойные неграфитовые плёнки, трубы, ленты, сферы и т.д. могут быть образованы различными не графитовыми углеродными структурами. На рисунке 5а приведены внешний вид тубулена и увеличенный фрагмент его частицы: видна внутренняя полость и толщина однородной стенки (около 80 нм). Тубулены не имеют структурной упорядоченности (электроноаморфны), их стенки могут быть образованы полимерными углеродными соединениями.

Как известно, графит это сложное образование, состоящее из атомов углерода (рис. 4), расположенных определённым образом, имеющим sp₂ гибридизацию электронных облаков. Свойства графита, как вещества, могут проявляться минимум в трёх (2H) или четырёх (3R) углеродных слоях, упакованных определённым образом. Как правило, эта структура представляет собой

пластиначатые образования и при толщине пленки 1 – 3 нм наблюдается микродифракционная картина. Установлено, что графит может образовывать массивные трубчатые структуры диаметром от 50 – 80 нм и более, причём графитовая структурная упорядоченность может проявляться в углеродных стенках фрагментарно. Это объясняется тем, что при уменьшении диаметра трубы увеличивается напряженность слоёв в стенках, что приводит к смещению атомов углерода и нарушению необходимой периодичности структуры. Вероятно, минимальную ячейку алмаза, графита, фуллерена, графена – можно считать «клластерными» формами, стоящими из атомов углерода, где углерод находится в различных координационных состояниях.

Строго упорядоченный в объёме архитектурный ансамбль, с «узлами» решётки в виде алмазоподобных, графитоподобных, фуллереноподобных и т.д. структур, имеющих в качестве узла «элементарной ячейки» сложные образования (молекул, кластеров, функционализированных образований и др. и их производных) может иметь свои специфические параметры решётки. Наличие в узлах решётки конкретного вида элементарного образования должно определяться структурой рефлекса.

Особое положение занимают индивидуальные каркасные углеродные соединения – фуллерены и образуемые ими фуллеритовые структуры (рис. 5а, б) [15]. На рисунке 4в показана возможная схема построения молекул одной из структур (рис. 5б) фуллерита. Фуллереновые

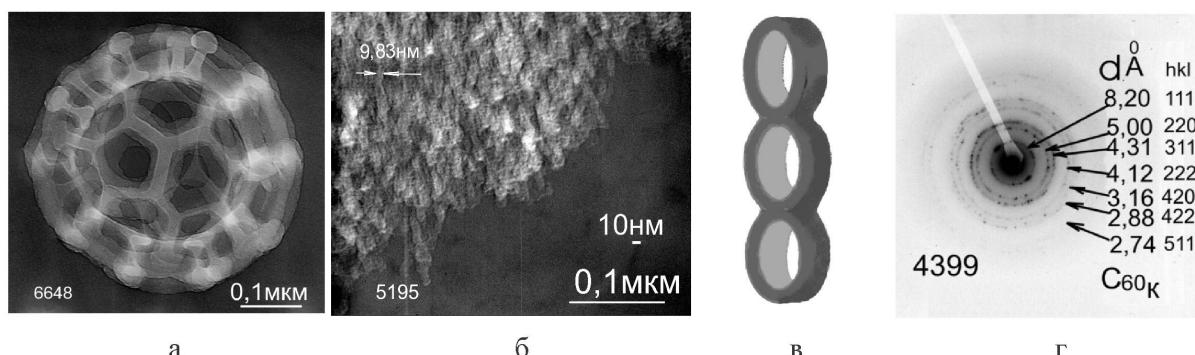


Рис. 5. Электронно-микроскопические снимки. Фуллеритовые морфоструктуры – а, б; вероятная схема структуры (рис. 4б) – в [18], электронограмма, полученная от этой структуры фуллерита – г

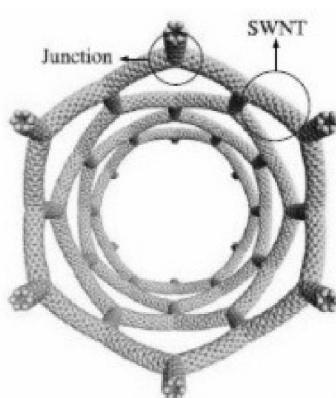


Рис. 6. Схема супер-углеродной нанотрубки (V.R. Coluci et all, 2006)

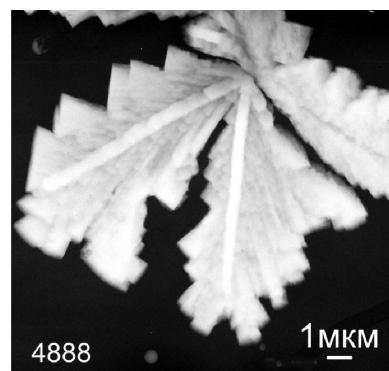


Рис. 7. Электронно-микроскопический снимок. Стекловидные массы, выпавшие из экстракта фуллеренсодержащего вещества.

мячики (каркасные соединения, образованные только атомами углерода), не имеют собственной кристаллической структуры, т.е. должны представлять собой рентгеноаморфные порошки.

Однако, «полимеризуясь», фуллерены способны образовывать различные материалы, имеющие надмолекулярную кристаллическую упорядоченность (рис. 5г) каркасных структур – фуллеритов [16,17]. Сфериодальные фуллеритовые образования (рис 5а) могут создавать рентгеноаморфные трубчато-волокнистые порошковые системы – супертрубки (рис. 6).

Существует класс соединений, совмещающих в себе «полимеризованную» и кристаллическую составляющие. К этой разновидности можно отнести стекловидные тела. Экспериментально были получены углеродные массы, похожие на застывшую смолу, которые периодически осаждались на стекло при высыхании капли экстракта фуллерена в толуоле [19]. Под электронным микроскопом (рис.7), видно присутствие

вещества, морфология которого предполагает наличие кристаллического строения. Однако картины дифракции электронов, полученные от этой субстанции, свидетельствуют о том, что основная масса вещества не имеет структурной упорядоченности, и только незначительная часть частиц, присутствующая в этом субстрате, имеет кристаллическую структуру.

Таким образом, можно отметить некоторые закономерности образования углеродистых веществ:

1. наличие полимерной фазы $(C_nH_m)_k$, где n, m, k – ряды целых чисел, и которая в твердом виде является порошковой или стекловидной, как правило, рентгеноаморфной;
2. присутствие кластерных (отдельных атомов) образований $(C_n)_n + H_m$, где n – может принимать строго определённые значения (например, 5 или 6), присутствие H является возможным, но не обязательным. Пока однозначно не определены и не зафиксированы конденсированные ин-

дивидуальные формы кластерных углеводородов ($C_m H_n$).

Агрегатное состояние «кластерных» образований, встречающихся в нашем «макромире», чаще присутствует в виде порошков (наноразмерные алмазы, лонсдейлиты, трубы, пластиинки и др.), чем в виде крупных кристаллов. Как правило, «кластерные» образования структурно упорядочены.

3. Обе архитектурные разновидности (полимерная и кластерная) имеют надмолекулярные построения, причем большинство из них структурно упорядочены.

Схема образования морфоструктур (рис. 4), предложенная ранее для кремнистых соединений, верна и для рассмотренных углеродных структур. Её построения не противоречат «закону» влияния структурной упорядоченности матрицы на рост новых образований /Гиваргизов Е.И., 1977/ и являются подтверждением тезиса о наследовании морфологических форм [20]. Вероятно, с учетом термодинамики существования систем, она также окажется справедливой и для других химических элементов и их групп.

В термодинамической системе, существующей в окружающей среде, в отличие от кремнистых соединений в семействе углеродсодержащих веществ твёрдая фракция не является преобладающей. Однако, при рассмотрении углеродных морфоструктур, образующихся в процессе конденсации, видна аналогия с формированием морфоструктур диоксида кремния. Проявляется аналогия в условиях образования некоторых углерод- и кремнийсодержащих материалов, а также фракционально – структурных характеристик.

Таким образом, можно сделать некоторые общие выводы:

1. Морфоструктуры частиц оксидов кремния и конденсированного углеродистого вещества имеют общие закономерности формирования:

- присутствует «полимерная» фаза, представляющая собой рентгеноаморфную порошковую субстанцию;

- присутствует кластерная фаза, представляющая собой структурно упорядоченные порошки и кристаллы;

- присутствуют надмолекулярные упаковки, часто имеющие кристаллическую упорядоченность;

- возможно образование смешанных структур – стекловидных тел, в которых может проявляться фрагментарная упорядоченность.

2. Общие этапы в закономерности образования конденсированных состояний самых распространённых в природе элементов: углерода и кремния ($C_n H_m$, $Si_n O_m$) для данной термодинамической системы (называемой – нормальные условия) позволяют говорить о возможности взаимного дополнения характеристик для недостаточно исследованных в настоящее время областей. Предлагается распространить некоторые аспекты образования морфоструктур одного ряда на другой ($C_n H_m$ и $Si_n O_m$). Например, положение о насыщенности растворов при образовании кремнистых структур, как более исследованное и теоретически обоснованное, аппроксимировать для иллюстрации образования морфоструктур углеродных ($C_n H_m$) рядов; рассмотреть возможность прогнозировать дополнение известных морфоструктур устойчивых фаз оксидов кремния ($Si_n O_m$) по аналогии с более изученными и экспериментально установленными, видами углеродистых морфоструктур.

3. Предложена схема построения морфоструктур. Из неё следует цикличность процессов образования морфологических видов «частиц» (плоскостей, сфер, трубок, пористых, клатратных соединений, кристаллов) из различных устойчивых в данной термодинамической обстановке элементарных структур:

- атомов (для атомов углерода);
- молекул $C_n H_m$ и $Si_n O_m$ (с различным значением переменных n,m);
- кластерных структур $C_n H_m$ и $Si_n O_m$ (со строго заданным значением переменных n,m);
- молекулярных кластеров (на основе C, Si, например, фуллеренов и Si-фуллероидов);
- устойчивых и т.д.

Размер «элементарного» кирпичика структуры является определяющим в том, что одностенная (образованная минимальным по толщине «атомарным» листом) углеродная трубка будет иметь значительно меньший диаметр, чем оксидно-кремниевая (образованная минимальным по толщине, но «молекулярным» листом).

ЛИТЕРАТУРА

1. Угай Я.А. Валентность, химическая связь и степень окисления – важнейшие понятия химии. Соросовские статьи, 1997. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/279.html>

2 Айгер Р. Коллоидная химия двуокиси кремния. //Химическая физика, 2005г. Т.24. №4. С.1-31

3. Годовиков А.А Минералогия, М.Недра, 1983. 648с.
4. Карпов И.А., Самаров Э.Н., Масалов В.М., Божко С.И., Емельченко Г.А. О внутренней структуре сферических частиц опала. //Физика твёрдого тела, 2005. т.47. вып.2. С. 334 – 338.
5. Шабанова Т.А., Глаголев В.А., Кашигина З.Б., Бочевская Е.Г., Абшиева З.С. Электронно-микроскопическое исследование некоторых разновидностей дисперсных кремнеземов//Доклады НАН РК. 2009. №1. С.26-32.
6. Шабанова Т.А., Вятченникова Л.С., Глаголев В.А. Электронно-микроскопическое исследование синтетических иризирующих опалов //Материалы Междунар. Конференции «Геология, минерагения и перспективы развития мин.-сырьевых ресурсов» («Сатпаевские чтения»). Алматы, 2009. С. 385-391.
7. Волков Ю.Л., Байбурин В.Б., Конов Н.Л. Формирование кремниевых наночастиц в расплавленном алюминии. /Письма в ЖТФ, 2003. Т. 209. в.20. С. 12 – 15.
8. Вонгай И.М., Дильмухамбетов Е.Е., Иманбаев Д.Т., Исабекова А.Т., Мансурова Р.М., Сембеков М.Н., Темирбаев К.С., Темирбаев М.А., Мансуров З.А. Получение многофункциональных растворов золей кремнекислоты. // Материалы 3 Международного симпозиума «Физика и химия углеродных материалов/nanoинженерия», (ФХКМ-2004), Алматы, 2004. С. 218 – 221.
- 9 Шабанова Т.А., Антонюк В.И., Заишвара О.В., Рябиков Ю.А., Мансурова Р.М. Изучение структур углеродистого вещества сорбентов методами электронной микроскопии, РФА и ЭПР-спектроскопии // Вестник КазНУ. Сер. химическая, 2004. № 4 (36). С. 462-466.
10. Мансуров З.А., Шабанова Т.А., Хигази Маруф, Бийсенбаев М.А., Моя Н.Н., Мансурова Р.М. Морфоструктуры углеродных наночастиц различных химических процессов // Вестник КазНУ. Сер. химическая: 2007. №1 (45). С. 384 – 389.
11. Shabanova T.A., Moya N.N., Nuzhnov J.V., Mansurov Z.A. Visualisation of nanosize heterogeneties of media and a hidrodinamic model of formanion of tubular nanostructures.// 10th International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization, FLUCOME -10. Moscow, 2009. August 14 -21. CD.
12. Мансуров З.А., Шабанова Т.А., Мансурова Р.М. Морфология микро – нано частиц карбонизированного растительного сырья // Вестник КазНУ. Сер. химическая, 2004. №2 (34). С. 129 -135.
13. Шабанова Т.А., Тажкенова Г.К., Нурмухамбетова Н.Н., Мансурова Р.М. Морфология микро- наночастиц зауглероженного минерального сырья // Вестник КазНУ. Сер. химическая. 2004. №2 (34). С.135 – 141
14. Курмакаева Ф. А., Шабанова Т. А. Электронно-микроскопическое изучение рассеянного углеродистого ве-
- щества месторождений Казахстана. //Известия АН КазССР. сер. геологическая, 1988. №2. С. 81- 84.
15. Шабанова Т.А., Антонюк В.И., Левин В.Л., Котельников П.Е., Глаголев В.А., Мансурова Р.М. Структурная упорядоченность углеродистого вещества по данным электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа // Вестник КазНУ. Сер. химическая, 2004. № 4 (36). С. 451- 455.
16. Неретин И.С., Лысенко К.А., Антипин М.Ю., Словаковтов Ю.Л. Кристаллическая и молекулярная структура фторидов фуллерена C₆₀ // Изв. АН, Сер. Хим., 2002. № 5, С. 695 – 699
17. Макарова Т.Л. Электрические и оптические свойства мономерных и полимеризованных фуллеренов. //Физика и техника полупроводников, 2001. том 36. вып. 3. С. 257-293.
18. Шабанова Т.А. , Левин В.Л., Приходько Н. Г., Мансуров З.А. Новая характеристика C60 –C70 – фуллеренсодержащего вещества (по данным электронной микроскопии) //Вестник КазНУ, Сер. хим. Алматы, 2005. № 3 (39). С. 43-48.
19. Шабанова Т.А., Левин В.Л., Приходько Н. Г., Мансуров З.А. Новая характеристика C60 –C70 – фуллеренсодержащего вещества (по данным электронной микроскопии) //Вестник КазНУ, Сер. хим. Алматы, 2005. -№ 3 (39). С. 43-48.
20. Бекенова Г.К., Глаголев В.А., Котельников П.Е., Левин В.Л., Марченко Л.Г., Шабанова Т.А. Влияние развития нанотехнологий на геолого-минералогические науки и недропользование. //Актуальные проблемы наук о земле. Материалы международной научно-практической конференции «Сатпаевские чтения». Алматы. 2008. С. 42 – 45.

Резюме

Наноәлемді кремний тотықтары бөлшектері мен конденсирленген көміртекті заттектердің морфологиялық құрылымдарының пайда болуының «полимерлік» және «клasterлік» фазалар, молекулаусті қаптамалар, аралас құрылымдар сияқты ортақ заңдылықтары бар. Наноәлемді бөлшектердің морфологиялық түрлерінің пайда болу тізбегінен шығатын морфологиялық құрылымдардың құрылу сызбасы ұсынылған.

Summary

Morphostructures of silicon oxide and condensed carbonaceous substance nanosize particles have general laws of formation: «polymeric» and “cluster” phases, supermolecular packings and mixed structures. The circuit of construction morphological structures, from which cyclicity of formation of morphological kinds of nanosize particles follows, is offered.

Институт проблем горения,
г. Алматы

Поступила 23.12.2009 г.