АЭРОЗОЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ

Скапцов А.С., Пусовская Т.И., Турок Д.А.

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
г. Могилев, Республика Беларусь

Аэрозольный метод получения наночастиц находит достаточно широкое применение в практике научных исследований и при производстве наноматериалов. К достоинствам метода можно отнести возможность генерации частиц с узким спектром размеров, регулирование размеров и концентрации частиц в широком интервале значений, возможность использования нескольких материалов при создании частиц и получение частиц определенной формы и структуры.

К аэрозольным методам получения частиц с размером от 1 до 100 нм можно отнести любой из методов, действие которого основано на гомо- или гетерогенной конденсации вещества из газовой фазы. Для перевода вещества в газообразное состояние используют различные приемы: термическое, плазменное, пламенное или лазерное нагревания.

Примером аэрозольного метода может служить метод получения частиц путем смешения разнотемпературных газовых потоков, один из которых содержит пары вещества, служащего материалом для образующихся наночастиц. В случае полного смешения объемов двух газов температура и концентрация пара в образующейся смеси и величина пересыщения могут быть рассчитаны по уравнениям теплового и материального балансов. При турбулентном смешении газовых потоков могут возникнуть локальные высокие пересыщения, значительно превышающие критическое, что приводит к гомогенной конденсации паров и образованию зародышей. Известны два приема смешения газов, используемые в этом методе. В одном случае струя нагретого газа, насыщенного парами вещества, расширяется в покоящийся холодный (атмосферный) газ или воздух, а в другом – та же струя смешивается со струей менее нагретого (холодного) газа.

Процессами роста частиц можно управлять путем изменения перепада температур между смешивающимися газовыми потоками и изменения соотношения между объемами смешивающихся газов. Если перепад температур между смешивающимися потоками газа достаточно велик, то образование зародышей сопровождается их быстрым конденсационным ростом и коагуляцией частиц. При незначительной разнице температур смешивающихся газов пересыщение, а, следовательно, и скорость гомогенной нуклеации меньше, конденсационный рост частиц протекает медленнее, а процесс коагуляции частиц дает незначительный вклад в изменение спектра частиц. В свою очередь, увеличение в общем объеме доли газа с парами исходного вещества при фиксированном перепаде температур приводит к большим значениям пересыщения в области смешения и большему числу зародышей, образующихся в результате гомогенной нуклеации. Более активно протекают конденсационный рост частиц и их коагуляция. В результате максимум спектра распределения частиц смещается в область более крупных частиц. Если соотношение между объемами чистого газа и газа с парами исходного вещества значительно смещено в сторону чистого газа, то пересыщение, по сравнению с предыдущим случаем, становится меньше, уменьшаются также и концентрация образующихся зародышей и частиц и размер частиц. В процессе смешения потоков или при

прохождении через тепловой реактор возможно протекание химических реакций, сопровождающееся образованием частиц, отличающихся по химическому составу от исходных реагентов.

К аэрозольным методам можно отнести получение частиц путем термического разложения сложных соединений (пиролиз) с последующим химическим взаимодействием простых продуктов в газовой фазе. Некоторые газы и пары взаимодействуют друг с другом с образованием продуктов, имеющих низкое давление пара. Продукты химических реакций, как правило, находятся в виде свободных молекул. Высокая концентрация молекул продукта реакции приводит к появлению пересыщения и, как следствие, - к образованию зародышей. Свойства аэрозолей, образующихся при химическом взаимодействии, зависят от того, насколько быстро газообразные реагенты смешиваются перед реакцией и в какой степени устранена коагуляция путем разбавления полученного аэрозоля.

Аэрозольным методом является метод получения частиц, образующихся в результате горения одного вещества или смеси различных веществ. Основным механизмом образования частиц при горении является конденсация продуктов горения. В зоне реакции молекулы сталкиваются между собой, образуя первичные частицы (зародыши), которые способны захватывать другие молекулы. После выхода из зоны реакции начинается коагуляция и образование агрегатов. Данный метод находит промышленное применение при производстве наночастиц углерода, диоксида титана, микрокремнезема (аморфный кремний), нанопорошка алюминия и целого ряда композитных соединений. Этим методом получают эффективный катализатор Pt-Al₂O₃, применяемый для синтеза некоторых препаратов в фармацевтической промышленности, специальный оксид CeO₂ для производства полупроводниковых пластин, стабильные квантовые точки ZnO размером 1-8 нм для визуального наблюдения ультрафиолетового излучения.

Фотохимический конденсационный метод также принадлежит к аэрозольным методам генерации частиц [39-41]. Пары веществ, освещенные определенным образом, вступают в химическую реакцию с образованием продукта, обладающего достаточно низким давлением пара. Пары продукта реакции конденсируются с образованием наночастиц. Длительность светового воздействия влияет на концентрацию молекул продукта реакции, пересыщение и размер образующихся частиц. Важными преимуществами фотохимического метода перед другими конденсационными методами являются то, что пар, возникающий в результате фотолиза, равномерно распределен по всему объему рабочей зоны, и образование частиц происходит равномерно. Кроме того, при реализации метода не требуется проводить перемешивание вещества рабочей зоны, что ускоряет процесс коагуляции и расширяет спектр размеров частиц.

С недавних пор широкое применение находит метод генерации наночастиц с помощью высокотемпературной или низкотемпературной плазмы. Процессы образования частиц в плазме протекают в газовой фазе независимо от агрегатного состояния исходных продуктов. В случае высокотемпературной плазмы исходный продукт вводят в плазматрон, где происходит его смешение с плазмой и нагрев до высоких температур (2000-2300 К). Далее происходит взаимодействие компонентов исходного продукта, а затем образование частиц из газовой фазы. Последний процесс происходит или при осаждении частиц на стенках аппаратуры (конденсация на поверхности) или за счет появления и роста зародышей, возникающих самопроизвольно в результате флуктуаций плотности.