

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ АЭРОЗОЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Скапцов А.С., Бодак В.А.

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

Среди методов получения наноматериалов аэрозольный метод относится к одному из наиболее изученных методов, что предопределяет его широкое применение в практике научных исследований и производстве наноматериалов [1]. Его достоинствами являются возможность генерации частиц с узким контролируемым спектром размеров, управление характеристиками аэрозоля в широком интервале размеров и концентраций частиц, возможность создания частиц сложного химического состава, получение частиц определенной формы и структуры, включая пористую. Кроме того аэрозольный метод отличается сравнительной простотой, позволяет контролировать все стадии процесса получения наночастиц и своевременно вносить корректировки на любом этапе производства частиц.

Рассматриваемый метод может быть реализован путем смешения разнотемпературных газовых потоков, один из которых содержит нагретые пары исходного вещества, а другой – представляет собой поток газа с температурой окружающей среды. В области смешения объемов двух газовых потоков возникает пересыщение, значение которого превышает критическое. В результате этого развивается процесс гомогенной конденсации паров, приводящий к образованию устойчивых к распаду зародышей. Присутствие паров вещества в образующейся смеси способствует дальнейшему конденсационному и коагуляционному росту частиц.

Упомянутыми процессами роста частиц можно управлять путем изменения теплового режима потоков и соотношения между объемами смешивающихся газов. Скорость гомогенной нуклеации, как известно [2], зависит от пересыщения. Если перепад температур между смешивающимися потоками газа достаточно велик, то возникающее пересыщение значительно превышает критическое, что сопровождается образованием зародышей, их быстрым конденсационным ростом и коагуляцией частиц. При уменьшении перепада температур смешивающихся газов пересыщение, а следовательно, и скорость гомогенной нуклеации становятся меньше. Вследствие этого конденсационный рост частиц протекает медленнее, а вклад процесса коагуляции в изменение спектра частиц сокращается. Увеличение в общем объеме доли газа с парами исходного вещества (числа мономеров) при фиксированном перепаде температур приводит к большим значениям пересыщения в области смешения и большему числу зародышей, образующихся в результате гомогенной нуклеации. Активно протекающие процессы конденсационного и коагуляционного роста частиц влекут за собой смещение максимума спектра распределения частиц по размерам в область более крупных частиц.

Если в смеси газовых потоков увеличивать долю чистого холодного газа при условии постоянства числа мономеров, поступающих в зону смешения, то размер и концентрация частиц уменьшаются. В области смешения потоков и за ее пределами допускается протекание химических реакций, сопровождающееся образованием частиц, отличающихся по химическому составу от исходных реагентов. Таким образом, варьируя ряд легко контролируемых параметров нетрудно управлять процессом получения наночастиц с наперед заданными свойствами.

Известны различные схемы практической реализации аэрозольного метода генерации нанометрических частиц, каждая из которых имеет определенные преимущества и недостатки. Отличие между ними, как правило, заключается в способе охлаждения газа, насыщенного парами исходного вещества. В одних схемах струя нагретого газа расширяется в холодный покоящийся газ [3], в других - используется принудительное охлаждение нагретого газа через стенки канала [4]. В обоих случаях наблюдаются значительные потери частиц на стенках канала или камеры в результате действия сил термофореза.

При смешивании газов была предложена схема Т-образного направления потоков, выходящих из каналов разного сечения [4]. Нагретый и насыщенный парами вещества газ выходит из более узкого цилиндрического канала со скоростью, превышающей скорость движения чистого холодного газа [4]. В такой схеме также наблюдается активное осаждение частиц на стенках, а образующийся аэрозоль, как показали результаты измерений, является полидисперсным с широкой функцией распределения частиц по размерам.

Для того чтобы исключить недостатки, характерные для ранее предложенных схем реализации аэрозольного метода, в настоящей работе при смешивании насыщенного парами вещества и холодного газов предлагается вариант попутного направления потоков, движущихся с различными скоростями. Скорости потоков подбираются таким образом, чтобы процесс слияния и перемешивания газов протекал за достаточно короткое время (порядка или менее 0,01 с). В этом случае, согласно выполненным расчетам, в области смешения возникает пересыщение, величина которого превышает критическое значение, и начинается процесс гомогенной нуклеации, сопровождающийся образованием зародышей. Устойчивые зародыши увеличиваются в размерах за счет конденсации паров вещества, а неустойчивые – распадаются на мономеры. Управление параметрами получаемого аэрозоля возможно путем изменения концентрации паров вещества в зоне смешения потоков, регулирования скорости охлаждения паров и, связанного с ним, времени пребывания системы в области максимального пересыщения и времени эволюции образовавшегося ансамбля частиц.

Разработан опытный образец устройства (генератор наночастиц). Экспериментально подтверждена способность генератора создавать аэрозоль, функция распределения частиц по размерам которого описывается логарифмически-нормальным законом, со средним геометрическим диаметром частиц от 3 до 60 нм и стандартным геометрическим отклонением от 1,15 до 2,1.

Список использованных источников

- 1 Рамбиди, Н.Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г.Рамбиди, А.В.Березкин. - М.: Физматлит, 2008. - 456 с.
- 2 Лушников, А.А. Современное состояние теории гомогенной нуклеации / А.А.Лушников, А.Г.Сутугин // Успехи химии. – 1976. – Т.45, №3. – С.385-415.
- 3 Грин, Х. Аэрозоли – пыли, дымы, туманы / Х.Грин, В.Лейн. – Ленинградское отделение: Химия, 1972. – 428с.
- 4 Baron, P.A. Aerosol Measurement / P.A.Baron, K.Willeke. - Edited by Van Nostrand Reinhold: New York, 1993. – 876 p.