

## ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Гамов Д.Л., Леонтьева Д.А., Еремеев Р.С.

Научный руководитель: Мышкин В.Ф.

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dal16@tpu.ru

Валентный электрон имеет спин, участвующий в магнитных взаимодействиях. Поэтому магнитное воздействие влияет на химические реакции, теплопроводность или пластичность кристаллов, позволяет управлять изотопной селективностью химических реакций в растворах. В магнитном поле в жидкостях наблюдается периодическое изменение вероятности образования химической связи.

Большинство плазменных процессов хорошо изучены и находят широкое применение в различных технологиях: очистка поверхности, получение и переработка порошков тугоплавких материалов, разделение изотопов. В настоящее время влиянию постоянного магнитного поля на плазмохимические процессы и нуклеацию диамагнитных веществ уделяется недостаточно внимания.

Фазовые переходы связаны с формированием или разрушением межмолекулярных связей. Процесс формирования аэрозоля без магнитного поля хорошо изучен. Процесс нуклеации начинается со столкновения трех частиц и формирования ядер конденсации - кластеров атомов. При малом пересыщении кластеры могут самопроизвольно испаряться. Теория флуктуации определяет скорость образования зародышей новой фазы в единице объема:

$$\frac{dN}{d\tau} = \frac{\gamma}{\rho} \sqrt{\frac{2m\sigma}{\pi}} \left(\frac{P}{kT}\right)^2 \exp\left(-\frac{\Delta G}{kT}\right), \quad (1)$$

где  $N$  - численная концентрация капель,  $\text{см}^{-3}$ ;  $\tau$  - время, с;  $\gamma$  - коэффициент десублимации;  $\rho$  - плотность сублимата;  $m$  - масса молекулы пара, кг;  $P$  - полное давление парогазовой смеси, мм рт.ст.;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $T$  - температура смеси, К;  $\Delta G$  - работа образования капли,  $\sigma$  - энергия поверхностного натяжения.

Закономерности процесса нуклеации определяются величиной безразмерного параметра  $G = k_0 : (K N_a)$ , где  $K$  - константа скорости трехчастичных столкновений,  $N_a$  - концентрация атомов.

Следует ожидать различного действия магнитного поля на десублимацию из низкотемпературной плазмы разных типов магнетиков. Магнитное поле способствует образованию более крупных ферромагнитных частиц оксидов железа. В магнитном поле ферромагнитные частицы оксида железа притягиваются вдоль линий напряженности внешнего магнитного поля. При этом следует помнить, что кластеры Fe или Ni проявляют ферромагнетизм (переход из парамагнитного состояния в ферромагнитное) при превышении диаметра частиц некоторого минимального значения.

Для изучения влияния внешнего магнитного поля на процесс формирования ядер конденсации и роста аэрозольных частиц определяли гранулометрический состав образующихся наночастиц. Для определения размеров наночастиц использовали метод SEM-микроскопии и лазерное рассеяние.

При лазерной диагностике гетерогенный поток просвечивали с помощью пучка оптического излучения в диапазоне длин волн 420-650 нм. Интенсивность зондирующего излучения на разных длинах волн, прошедших гетерогенный поток, регистрировали с помощью спектрометра SL-140. Считали, что аэрозольный поток имеет цилиндрическую геометрию, через центр которого проходит зондирующий луч оптического излучения. На участке спектра 0,42 - 0,63 мкм графики имеют незначительное отклонение от линейной зависимости с разным углом наклона к оси OX. Без магнитного поля угол наклона графиков изменяется в более широком диапазоне, чем в постоянном магнитном поле 44 или 76 мТл. Функцию распределения частиц по размерам определяли путем решения обратной задачи. Из экспериментальных данных формировали несколько выборок коэффициентов ослабления. С каждой выборкой из одного спектра пропускания решалась обратная задача, с учетом решений других групп. Добивались схождения решений для большей части обрабатываемых выборок из набора коэффициентов пропускания. Использовались известные алгоритмы и программные коды решения обратной задачи. На SEM-изображениях дисперсные частицы, образующиеся без магнитного поля, имеют широкий диапазон размеров. Видны скопления частиц на площади размером менее 3 мкм. В некоторых скоплениях видны частицы размером менее 200 нм. В постоянном магнитном поле 30 мТл наблюдается сужение диапазона размеров, а также незначительное количество скоплений частиц на площади менее 1 мкм. Также наблюдается значительное количество отдельных частиц размером менее 200 нм. Влияние внешнего постоянного магнитного поля на процесс десублимации диамагнитных веществ связано с воздействием на неспаренные спины атомных частиц из пара и на поверхности наночастиц. Без магнитного поля ориентация неспаренных спинов сталкивающихся частиц в пространстве имеет случайное направление. Прецессия спинов валентных электронов в магнитном поле уменьшает количество возможных пространственных ориентаций двух спинов сталкивающихся частиц. При этом изотопный эффект десублимации значительно увеличивается. Исследования финансировались в рамках гранта РФФИ №16-08-00246.