

УДК 544.015

ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНЫХ ФАЗ¹

А.Е. Чалых*, В.К. Герасимов*, В.В. Матвеев*,
С.А. Писарев*, И.А. Грицкова**, А.А. Ежова**

* *Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН*

** *Московский технологический университет, МИТХТ*

На примере латексных частиц полистирола, стабилизированных кремнийорганическим ПАВ показана возможность получения дополнительной информации о структуре и распределении плотности внутри латексной частицы с привлечением цифровых технологий фиксации электронно-микроскопического изображения.

В практике электронно-микроскопических исследований фиксация изображения проводилась на аналоговые носители (фотопленка, фотопластины). Обработка изображения в этом случае, как правило, сводилась к определению формы и размеров частиц, их распределению, взаимному расположению в пространстве и т.д. [1]. В качестве примера на рис. 1 представлены типичные микрофотографии латексных частиц полистирола (ПС), стабилизированные кремнийорганическими ПАВ. Средний размер латексных частиц составляет ~ 330 нм, а распределение частиц по размерам имеет вид, показанный на рис. 2. Этим обычно заканчивался морфологический анализ дисперсий.

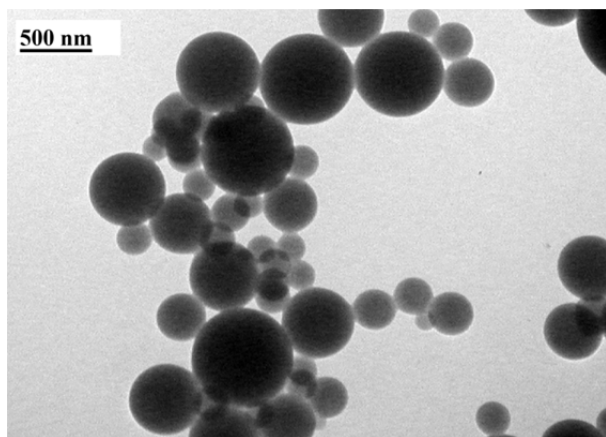


Рис. 1. Электронная микрофотография латексных частиц полистирола.

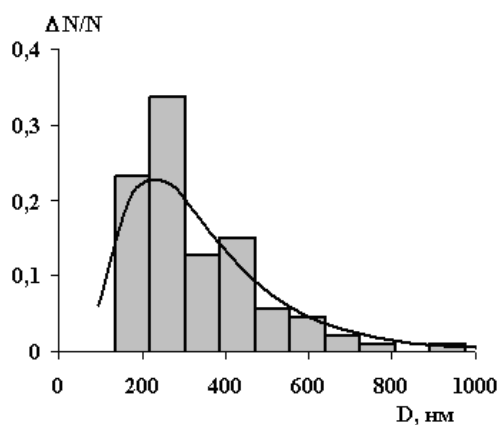


Рис. 2. Гистограмма распределения частиц латекса ПС по размерам. Непрерывная линия - описание уравнением нормального

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Код проекта 14-03-00390)

Применение цифровых технологий фиксации и хранения изображений позволяет продвинуться существенно дальше в плане получения информации о тонкой структуре дисперсных частиц.

Известно, что электронный пучок, проходя через исследуемый объект частично рассеивается и/или поглощается, теряя свою интенсивность. То есть, зафиксированное на изображении снижение интенсивности (амплитудного контраста) несет в себе информацию не только о геометрических размерах объекта, но и о его внутренней структуре. В нашем случае речь идет о распределении плотности, состоянии межфазного слоя, наличии упорядоченных образований.

На рис. 3 представлено изображение латексной частицы, которое было использовано нами (среди прочих) для цифровой обработки. С этой целью был использован следующий алгоритм.

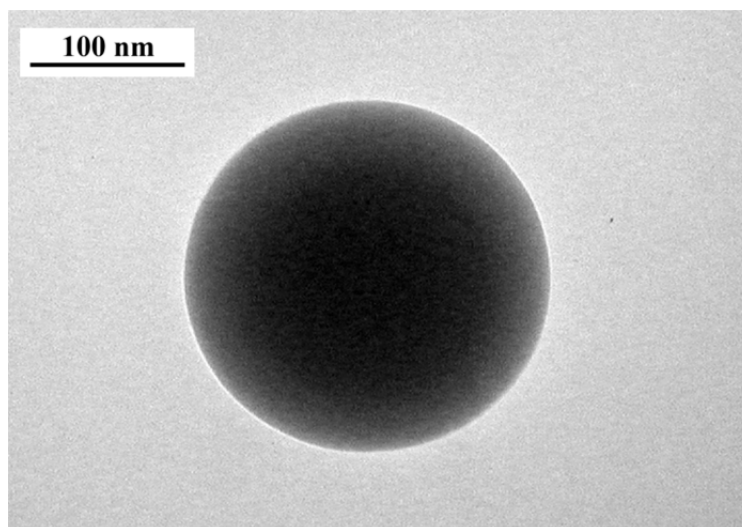


Рис. 3. Электронная микрофотография латексной частицы.

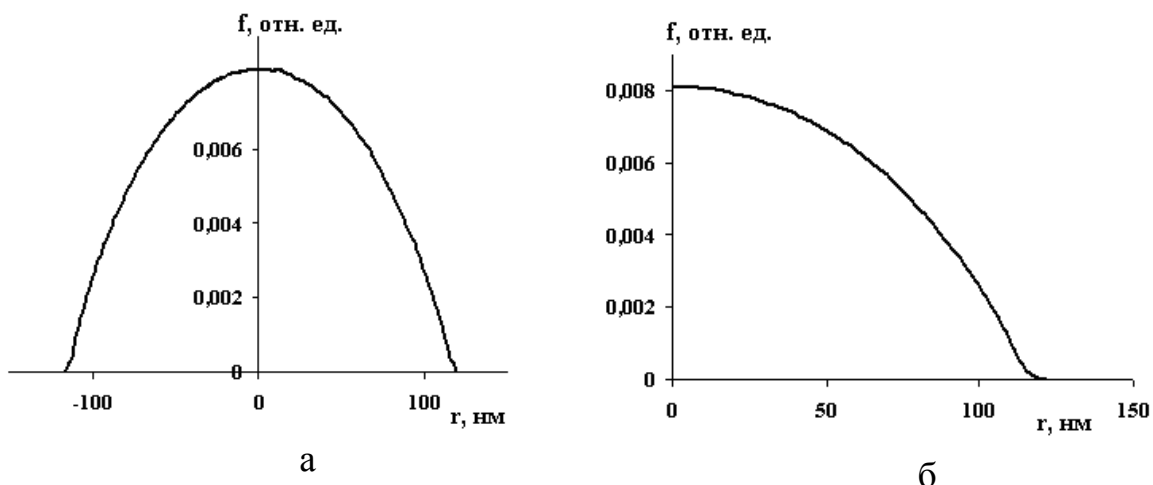


Рис. 4. Функция почернения изображения латексной частицы. Пояснения в тексте

Отклонение интенсивности почернения изображения от фоновых значений, неизбежно присутствующих на любой электронно-микроскопической фотографии, как уже было сказано выше, связано со структурой исследуемого объекта. В формате 8-битного .bmp файла изображение хранится в формате координаты пикселя и его уровень серого от 0 до 255. Количественной характеристикой взаимосвязи внутренней структуры исследуемого объекта и его изображения является функция почернения (f), получаемая суммированием уровней серого по одной из координат. На рис. 4а показана функция почернения, полученная с изображения латексной частицы, показанной на рис. 3. Латексная частица обладает центральной симметрией, следовательно, правую и левую части (относительно центра масс) функции почернения можно усреднить, получив радиальную функцию почернения (рис. 4).

В предыдущей работе [2] нами было показано, что для центрально симметричных объектов радиальная функция распределения плотности связана с функцией почернения следующим соотношением.

$$\rho(r) = -\frac{\partial f}{2\pi r}. \quad (1)$$

Здесь $\rho(r)$ - радиальная функция распределения плотности, r – текущий радиус.

Использование уравнения (1) и радиальной функции почернения конкретных латексных частиц позволяет нам рассчитать радиальные функции распределения плотности.

Были обработаны изображения нескольких десятков латексных частиц, различающихся типом ПАВ-стабилизатора. Типичная радиальная функция распределения плотности внутри латексных частиц показана на рис. 5. Видно, что в латексной частице, во-первых, присутствует межфазный слой протяженностью 10-15 нм. Максимум плотности¹ приходится на границу между межфазным слоем и внутренними слоями латексной частицы. Затем следует некоторое

¹ Радиальная функция распределения плотности нормирована на единицу в максимуме.

понижение плотности (до 60-80% от максимума). И, далее, плотность становится постоянной по мере приближения к центру латексной частицы. Вероятно, такой характер распределения плотности связан с особенностями строения поверхностного слоя, который формируется при переходе от системы стирол – ПАВ к системе ПС – ПАВ. Во-вторых, по нашему мнению следует обратить внимание на неоднородности распределения в центральной части латексной молекулы, что, вероятно, связано с особенностями молекулярно-массового распределения ПС.

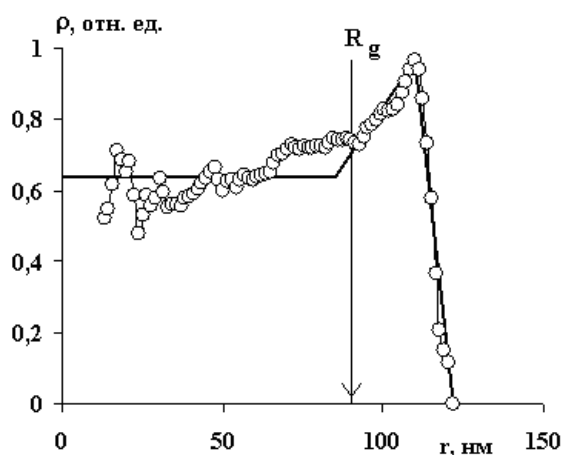


Рис. 5. Радиальная функция распределения плотности внутри латексной частицы. R_g – радиус инерции.

Остальные радиальные функции распределения плотности различаются только протяженностью межфазного слоя и долей снижения плотности при приближении к центру латексной частицы.

Таким образом, показана возможность получения дополнительной информации о структуре и распределении плотности внутри латексной частицы с привлечением цифровых технологий фиксации электронно-микроскопического изображения.

Литература

1. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия. 1976, 270 с.
2. Герасимов В.К., Чалых А.Е. // Высокомолек. соед. Б 2001. Т. 43. № 11. С. 2015-2019.