

Исследование анизотропии акустических спектров углеродных нанотрубок в водных дисперсиях

Н.И. Сапронова, М.Ф. Власова, А.А. Лошкарев, Ю.М. Токунов, В.В. Иванов
Московский физико-технический институт (государственный университет)

Углеродные нанотрубки (УНТ) в последнее десятилетие получили широкое распространение благодаря своим уникальным свойствам. Выдающиеся механические, электрические и термические свойства позволяют применять данные материалы в различных областях науки и техники. На данный момент углеродные нанотрубки уже активно используются в микроэлектронике, оптоэлектронике, фотонике, как добавки к композитным материалам. Спектр возможных применений постоянно растёт и не ограничивается данными областями. В большинстве практических применений углеродные нанотрубки используются в виде суспензий, преимущественно в водной среде. Данный факт означает, что вопросы подготовки суспензий нанотрубок и их оперативного контроля являются критически важными для всего дальнейшего процесса.

Существующие традиционные методы изучения УНТ имеют ряд существенных ограничений. Так, для исследования параметров УНТ с помощью электронного микроскопа необходимо проведение пробоподготовки, связанной с разбавлением и высушиванием исходной дисперсии. Этот фактор влияет на существенные изменения в структуре дисперсной фазы. Например, разбавление образца может привести к разрушению агрегатов и хлопьев, существовавших в изначальной суспензии, или, наоборот, их образованию. Помимо всего прочего, сам процесс исследования образца требует существенного времени. Таким образом, можно заключить, что для проведения качественного оперативного контроля параметров УНТ в суспензии требуются более быстрые методы, позволяющие измерять суспензию в её исходном виде.

Метод акустической спектроскопии предназначен для исследования образцов с высокими объемными концентрациями частиц (до 50 об.%), в том числе, непрозрачных, что позволяет исследовать образцы без предварительной подготовки в изначальном виде.

Акустический метод гораздо менее чувствителен к загрязнению образца по сравнению с традиционными методами из-за высокой концентрации частиц. Метод акустической спектроскопии является экспресс-методом: одно измерение может быть выполнено всего за несколько минут. Более того, современные акустические системы могут исследовать суспензии в потоке, что делает этот метод очень привлекательным для on-line характеристики образца.

Существующие в настоящее время теории метода акустической спектроскопии разработаны в приближении сферических частиц, поэтому метод в том виде, в котором он существует сейчас, не позволяет адекватно описывать суспензии с плоскими или цилиндрическими частицами. Таким образом, разработка теории и методов измерения геометрических параметров (диаметра и аспектного отношения) несферических частиц имеет первостепенное значение для оперативного контроля характеристик различных суспензий.

В основе метода лежит описание взаимодействия акустической волны с дисперсной системой, в результате которого происходит затухание ультразвуковой волны в образце. Таким образом, измеряется затухание ультразвука при различных частотах (3 ÷ 100 МГц) и величинах зазора между излучателем и приёмником (в нашем случае от 0.25 мм до 10.00 мм). Спектры затухания ультразвука измеряются при двух различных степенях ориентации несферических частиц в потоке дисперсии: для изотропной ориентации наночастиц в покоящейся дисперсии и для движущейся в канале дисперсии с цилиндрическими наночастицами, ориентированными вдоль потока и перпендикулярно направлению ультразвуковой волны

На основе различия двух спектров затухания ультразвука рассчитываются геометрические параметры несферических частиц: диаметр и аспектное отношение. При регистрации спектров использован акустический анализатор DT-500 производства Dispersion Technology Inc., США.

В данной работе методом акустической спектроскопии несферических нанообъектов, разработанном в Центре испытаний функциональных материалов МФТИ, проводилось изучение суспензий двух типов углеродных нанотрубок: «Tuball» (OCSiAl, Новосибирск) и «Таунит» (ООО «НаноТехЦентр», Тамбов), - с концентрацией 1,1 мг/мл и 2,2 мг/мл соответственно.

Для указанных нанодисперсий численной обработкой результатов измерений получены значения средних диаметров цилиндрических нанообъектов (углеродных нанотрубок) 6 нм, 27 нм и аспектных отношений 470, 190 соответственно. Полученные данные находятся в согласии с измерениями размерных параметров методами микроскопии.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (RFMEF157514X0091).