

УДК 535.36

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЛАЗЕРНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАНОЧАСТИЦ В МАГНИТНЫХ ЖИДКОСТЯХ

Алексеев А.А. (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого),

Непомнящая Э.К. (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

Научный руководитель — к.т.н., доцент Величко Е.Н.

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

Данная работа описывает требования к схеме лазерного корреляционного спектрометра, используемого для оценки размеров магнитных наночастиц в жидкости. Предложенный в работе вариант схемы позволяет получить размеры наночастиц оксида железа в суспензиях магнетита (магнитной жидкости).

Введение. Магнитные жидкости нашли своё применение почти во всех сферах нашей жизни, начиная от техники и заканчивая медициной и экологией. Изучение параметров наночастиц в магнитных жидкостях является очень актуальной задачей для исследователей. Одним из ключевых параметров наночастиц, определяющих магнитные свойства жидкости, является их размер. В данной работе рассматривается метод лазерной корреляционной спектроскопии (ЛКС), позволяющий с высокой точностью измерить размеры наночастиц в жидкости. Для применения данного метода не требуется дорогого оборудования, как в электронных и атомно-силовых микроскопах, при этом потенциально его точность выше, чем у других оптических методов.

Однако существующие в настоящее время реализации схемы лазерного корреляционного спектрометра не позволяют с высокой степенью достоверности исследовать поглощающие и полидисперсные суспензии. В связи с этим подбор параметров схемы должен производиться исходя из параметров исследуемого образца. В данной работе разрабатывается схема с параметрами, позволяющими применять её для изучения размеров наночастиц в магнитных жидкостях.

Основная часть. Классическая схема лазерного корреляционного спектрометра состоит из 7 основных элементов, среди которых: лазер со стабилизированным источником питания, фокусирующая оптика, кювета с исследуемой жидкостью, система линз и диафрагм для сбора рассеянного излучения, фотоэлектронный умножитель и аналого-цифровой преобразователь.

Одной из самых важных задач является правильный выбор мощности и длины волны лазерного излучения. Если мощность будет слишком маленькой, то нам не удастся получить оптимальное соотношение сигнал/шум, если же мощность будет слишком большой, то частицы, взвешенные в жидкости, начнут нагреваться и возникнут конвекционные потоки, что тоже негативно скажется на результатах эксперимента. Длина волны выбирается исходя из минимального поглощения света частицами. Окно прозрачности исследуемых нами магнитных жидкостей (Fe_2O_3) лежит в диапазоне: 630-980 нм. В данной работе был выбран полупроводниковый лазер с длиной волны 650 нм, и мощностью светового излучения 10 мВт. Как показали пробные эксперименты, данная мощность позволяет получить отношение сигнал/шум на уровне 20 дБ и выше.

Не менее важная задача в составлении схемы для ЛКС – разработка стабилизированного питания лазера. В компактном варианте схемы спектрометра оптимальным решением является использование обычных аккумуляторных батарей, которые являются дешёвыми и дают стабильное питание.

Для регистрации излучения, рассеянного образцом, в данной работе используется фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Данный выбор сделан из-за низкой мощности рассеяния излучения на образцах, что требует дополнительного усиления. Обычные фотодиоды в этом случае не позволяют добиться высокого отношения сигнал/шум. Для

сбора излучения и выбора эффективного рассеивающего объема (области, с которой рассеянный свет попадает на входную апертуру ФЭУ) в классической схеме используют систему линз и диафрагм. В данной работе мы предлагаем использование оптоволокна. Это позволяет избавиться от дорогостоящей и массивной системы диафрагм, а также упростить сборку схемы и её требования к виброзащите.

Оцифровка принятого сигнала является заключительной частью эксперимента. Важным параметром, влияющим на качество оцифрованного сигнала, является частота дискретизации. Согласно теореме Котельникова, минимальная частота дискретизации будет составлять $f_{\text{дискр}} = 2f_{\text{сигн.макс}}$. Для исследуемой нами магнитной жидкости $f_{\text{сигн.макс}} \approx 20\text{-}40$ кГц, соответственно $f_{\text{дискр}}$ не может быть меньше 80 кГц. В данной работе была выбрана частота дискретизации равная 100 кГц. Для уменьшения высокочастотных шумов в схему был добавлен фильтр нижних частот (200 кГц).

При помощи описанной схемы были проведены измерения размеров наночастиц (Fe_2O_3) в воде. Концентрация магнетита в исходном растворе составляла 27%, для проведения исследования магнитная жидкость разбавлялась дистиллированной водой таким образом, чтобы в исследуемом растворе концентрация магнетита составляла 0,7 %. Размеры магнитных наночастиц по данным электронной микроскопии лежат в диапазоне 5 – 40 нм. Полученные по данным лазерной корреляционной спектроскопии размеры частиц совпали с данными электронной микроскопии. Кроме того, в растворе было обнаружено присутствие значительного числа агрегатов с размерами от 70 до 300 нм, что можно объяснить нарушением стабильности жидкостей, вызванной её разведением. Таким образом показана эффективность работы разработанного лазерного корреляционного спектрометра при исследовании магнитных жидкостей.

Выводы. В работе выбраны следующие параметры элементов лазерного корреляционного спектрометра, позволившие определять размеры наночастиц магнетита в магнитной жидкости: мощность лазера $P = 10$ мВт; длина волны излучения лазера $\lambda = 650 \pm 5$ нм; частота дискретизации полезного сигнала $f_{\text{дискр}} = 100$ кГц. Для сбора рассеянного излучения использовано многомодовое оптическое волокно с диаметром сердцевины 50 мкм.

Размеры наночастиц в магнитной жидкости, измеренные с использованием описанного спектрометра, находятся в хорошем согласии с результатами, полученными другими методами и позволяют сделать вывод о корректности подобранных параметров схемы.