

УДК 532.783:537.363

## УПРАВЛЕНИЕ ДВУМЕРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ МИКРОЧАСТИЦ В НЕМАТИЧЕСКОМ ЖИДКОМ КРИСТАЛЛЕ

А. В. Рыжкова, Ф. В. Подгорнов, В. Хаазе

*Eduard Zintl Institute for Inorganic and Physical Chemistry, Darmstadt University  
of Technology, Petersenstr. 20, Darmstadt, D-64287, Germany;*

e-mail: Ryzhkova\_a@yahoo.com

*Экспериментально показана возможность управления двумерным движением диэлектрических микрочастиц в канале, заполненном нематическим жидким кристаллом. Установлено, что движение частиц вдоль электрического поля осуществляется посредством явления электрофореза. Движение частиц вдоль электродов перпендикулярно электрическому полю обусловлено комбинацией двух эффектов: обратного потока и вращения Квинки.*

**Ключевые слова:** *частицы в НЖК в электрическом поле, электрофорез, вращение Квинки, обратный поток.*

Интерес к изучению электрокинетических явлений в жидкостях в настоящее время связан с их широким применением в биомедицинских технологиях, дисплейной технике и научных исследованиях [1–3]. В настоящее время большой интерес представляет изучение движения частиц в анизотропных средах, таких как жидкие кристаллы (ЖК), растворы полимеров, ДНК. Анизотропные жидкости по сравнению с изотропными средами обладают более сильной зависимостью физических параметров (диэлектрической проницаемости, вязкости, проводимости) от внешних электромагнитных, механических и др. полей. В связи с этим, анизотропные среды, например жидкие кристаллы, дают дополнительные возможности по управлению движением микро- и наночастиц.

Целью работы является исследование возможности управления двумерным движением микрочастиц в нематическом жидком кристалле (НЖК) с помощью внешнего электрического поля.

Для исследования данного явления была собрана ячейка со специальной конфигурацией электродов (рис. 1). На нижней подложке с помощью фотолитографического метода создавались два управляющих электрода, расстояние между которыми составляло

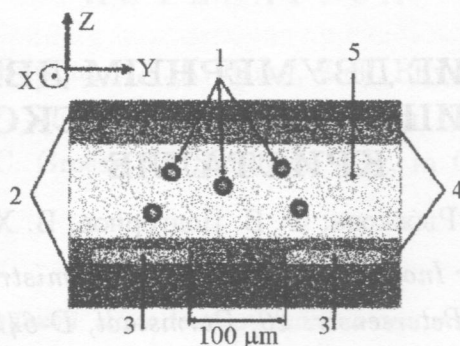


Рис. 1. Схема ячейки: 1 – микрочастицы, 2 – стеклянные подложки, 3 – электрод, 4 – ориентирующие слои, 5 – НЖК.

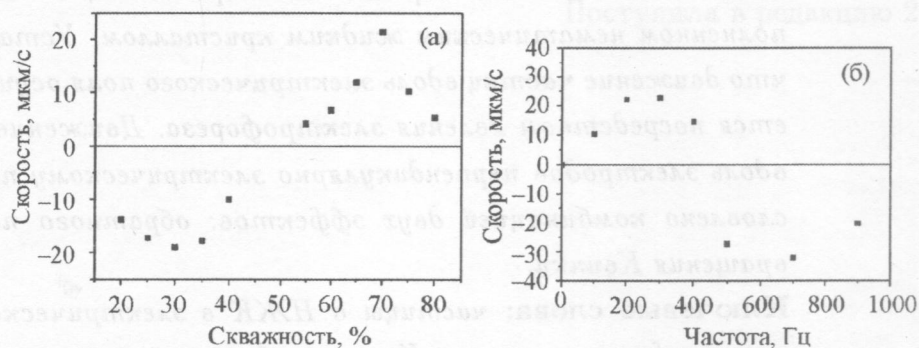


Рис. 2. Зависимость скорости движения частиц вдоль электродов (а) от скважности. Амплитуда приложенного напряжения 100 В, частота 100 Гц, прямоугольная форма сигнала. (б) От частоты. Амплитуда приложенного напряжения 100 В, напряжение смещения +10 В.

100 мкм. Верхняя подложка была сделана из стекла без электродов. Данная геометрия ячейки позволяла изучать динамику движения микрообъектов как вдоль электрического поля, так и перпендикулярно ему. Планарно ориентированная ячейка была заполнена смесью НЖК MLC-6003 с диэлектрическими частицами меламина диаметром 2 мкм. Директор НЖК был изначально направлен вдоль электродов. Толщина ячейки НЖК составляла 20 мкм.

Для исследования движения микрочастиц в НЖК вдоль электрического поля к образцу прикладывалось биполярное напряжение прямоугольной формы с частотой в диапазоне от 0.5 до 10 Гц и значением амплитуды в диапазоне от 10 до 160 В, скважность сигнала была равна 50%. Приложение электрического поля приводило к движению частиц в направлении, зависящем от его полярности. Данная зависимость движения ча-

стиц указывает на то, что основная сила, приводящая микрообъект в движение, имеет электрофоретическую природу. Частицы, помещенные в НЖК, несли положительно заряженную метиловую функциональную группу. В электрическом поле на заряженную поверхность частицы действовала электростатическая (электрофоретическая) сила, которая и приводила частицу в движение. При увеличении частоты величина амплитуды движения частиц уменьшалась и при достижении частоты 20 Гц данная амплитуда равнялась нулю.

При изменении симметрии прямоугольного электрического сигнала (скважность 50% и напряжение смещения 0 В) и увеличении его частоты до 1 кГц, практически все частицы собирались возле одного электрода и наблюдалось их движение в направлении, перпендикулярном электрическому полю вдоль границы электрода. Изменение значения скважности, знака и значения напряжения смещения позволяло контролировать коллективное движение микрообъектов вдоль электродов (перпендикулярно электрическому полю). Так, например, при амплитуде переменного напряжения 100 В, постоянной смещения +10 В и достижении частоты 420 Гц наблюдалось изменение направления движения микрообъектов на противоположное (рис. 2(б)). Возможным объяснением данных эффектов могут служить обратный поток (при частотах до 100 Гц) и вращение Квинки (при частотах более 100 Гц).

Таким образом, в работе показана возможность управления двумерным движением микрочастиц в канале, заполненном планарно ориентированным нематическим жидким кристаллом. Установлено, что движение микрообъектов вдоль электрического поля осуществляется посредством электрофореза. Движение частиц вдоль электрода перпендикулярно полю зависит от скважности, напряжения смещения и частоты приложенного напряжения. Данный эффект объяснен возникающим обратным потоком в НЖК (при  $f < 100$  Гц) и вращением Квинки (при  $f > 100$  Гц).

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] G. M. Whitesides and A. D. Stroock, *Phys. Today* **54**, 42 (2001).
- [2] D. Mizuno, Y. Kimura, and R. Hayakawa, *Phys. Rev. E* **70**, 011509 (2004).
- [3] Y. Kang, D. Li, *Microfluidics and nanofluidics* **6**(4), 431 (2009).

*По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара "Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики", Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.*

Поступила в редакцию 30 октября 2009 г.