

ФОРМИРОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КЛАСТЕРОВ В ВОДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКА: МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В. В. Лукьяница

*Белорусский государственный медицинский университет, пр. Дзержинского 83,
220083 г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: lukyan.1952@mail.ru*

В результате микроскопических исследований обнаружено, что под действием низкочастотного ультразвука (22 кГц) в воде происходит образование молекулярных кластеров. Визуализация кластеров выполнена посредством замораживания воды (-22°C), предварительно прошедшей ультразвуковую обработку. Установлено, что кластеры в основном имеют вытянутую форму с размерами от 50 мкм до 780 мкм. Кроме того, выявлено наличие множественных молекулярных ассоциаций с размерами меньше 20 мкм.

Ключевые слова: дистиллированная вода; ультразвук; замораживание; микроскопические исследования; молекулярные кластеры.

FORMATION OF MOLECULAR CLUSTERS IN WATER UNDER THE INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY ULTRASOUND: MICROSCOPIC STUDIES

V. V. Lukyanitsa

*Belarusian State Medical University, 83 Dzerzhinsky Ave., 220083 Minsk, Republic of Belarus
Corresponding author: V. V. Lukyanitsa (lukyan.1952@mail.ru)*

As a result of microscopic studies, it was found that under the influence of low-frequency ultrasound (22 kHz), molecular clusters are formed in water. Visualization of clusters was performed by freezing water (-22°C), which had previously undergone ultrasonic treatment. It has been established that clusters mainly have an elongated shape with sizes from 50 microns to 780 microns. In addition, the presence of multiple molecular associations with sizes less than 20 microns was revealed.

Key words: distilled water; ultrasound; freezing; microscopic studies; molecular clusters.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно проводятся научные исследования, направленные на поиски путей повышения эффективности используемых технологий и качества выпускаемой микроэлектронной продукции.

В микроэлектронной промышленности на различных этапах технологических процессов широко применяется дистиллированная вода, которая, являясь полярным веществом, обладает превосходными растворяющими свойствами. Именно это обуславливает ее широкое применение, в том числе для отмывки кремневых пластин. Причем скорость протекания химических реакций, в частности при отмывке, зависит от pH среды. А как было установлено в работе [1], имеется возможность изменять

(«управлять») рН дистиллированной воды при воздействии на нее ультразвуком (УЗ). Это интерпретировалось из предположения, что в воде под действием ультразвука формируются водяные кластеры, в образовании которых участвуют анионы и катионы воды, но в разной степени [1].

Цель: путем микроскопических исследований подтвердить наличие образовавшихся в воде под действием ультразвука молекулярных кластеров и оценить их размеры.


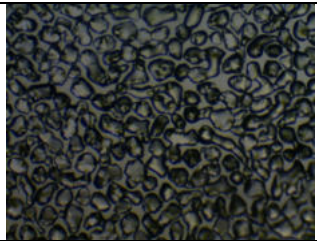
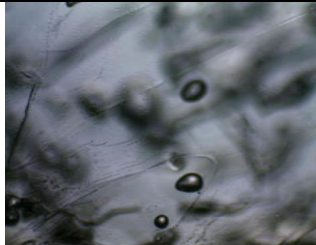

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования использовалась дистиллированная вода, которая помещалась в чашки Петри и обрабатывалась ультразвуком с частотой 22 кГц. Для визуализации образовавшихся в воде молекулярных кластеров использовался метод замораживания исследуемых и контрольных (без предварительной обработки ультразвуком) образцов воды [2]. Затем выполнялись микрофотографирование и сравнительный анализ микроснимков их поверхностей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице представлены микрофотографии поверхностей исследуемых и контрольных образцов воды после их заморозки. Кроме того, туда же помещены микрофотографии внутренних поверхностей крышек чашек Петри, в которых при замораживании находились данные образцы.

Сравнительная таблица микрофотографий контрольного и прошедшего предварительную УЗ обработку(исследуемого) образцов воды после их заморозки

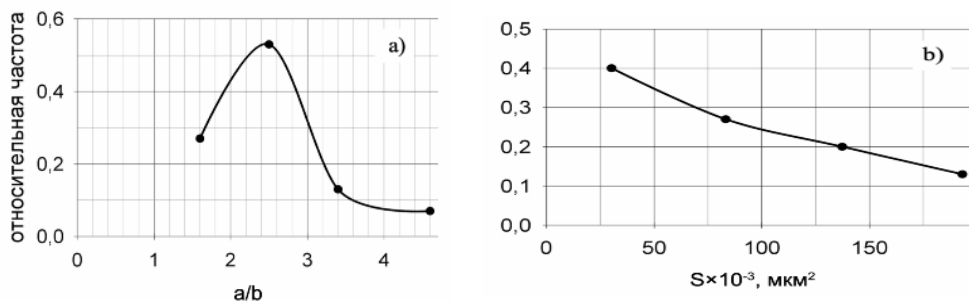
Объект съемки \ Образцы	Контрольный	Исследуемый
Внутренняя поверхность крышки Петри		
Поверхность замёрзшей воды		

Установлено, что после заморозки контрольный образец воды имеет гладкую однородную поверхность. В отличие от контрольного поверхность исследуемого образца содержит молекулярные крупномасштабные образования в виде водяных доменов. Посредством изменения фокусировки микроскопа установлено, что границы

этих доменов распространяются вглубь образца замёрзшей воды. Последнее свидетельствует о том, что мы имеем дело с объёмными структурными образованиями, то есть с кластерами. Очевидно, что они сформировались при ультразвуковой обработке воды и проявились при последующей ее заморозке, так как при заморозке контрольного образца воды этого не происходит. Измерения линейных размеров доменов показали, что они лежат в интервале от 50 мкм до 785 мкм.

Далее был проведен статистический анализ геометрических параметров этих кластеров (см.рис.).

Для этого они были пронумерованы и с помощью компьютерной программы обработки изображений ImageJ измерены их продольные (a) и поперечные (b) оси, периметры и площади.



Относительные частоты образования доменов, в зависимости от соотношения их продольных и поперечных осей (a) и их площадей (b)

На рисунке показаны распределения доменов как по соотношению продольных и поперечных осей, так и по площадям. Видно, что распределение относительных частот образования доменов по величине отношения a/b близко к нормальному закону (рис., a). Тогда как кривая распределения относительных частот образования доменов по площадям плавно снижается с увеличением их размеров (рис., b). Отметим, что по величине отношения осей (a/b) можно судить о форме доменов.

Детальный анализ полученных данных показал, что под действием ультразвука с наибольшей вероятностью в воде формируются домены, у которых площади $\leq 25 \times 10^3 \mu\text{m}^2$, а большие оси приблизительно в 2,5 раза больше малых. Последнее означает, что домены (кластеры) имеют преимущественно вытянутую форму.

Сравнительный анализ микрофотографий внутренних поверхностей крышек Петри также выявил существенные различия между контрольными и исследуемыми образцами. В контрольном образце «мелкие» ассоциации молекул воды распределены равномерно по поверхности и находятся на относительно большом расстоянии друг от друга. Тогда как в исследуемом образце размеры ассоциаций молекул становятся существенно больше ($\leq 20 \mu\text{m}$), и они почти вплотную прилегают друг к другу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

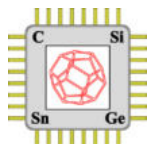
Получено экспериментальное подтверждение того, что при ультразвуковой обработке воды в ней формируются крупномасштабные молекулярные кластеры с линейными размерами в интервале от 50 мкм до 780 мкм. Они имеют преимущественно вытянутую форму с площадями поперечного сечения $\leq 25 \times 10^3 \mu\text{m}^2$, и у них большие поперечные оси приблизительно в 2,5 раза больше малых поперечных осей. Кроме

того, выявлено формирование множественных молекулярных ассоциаций с размерами меньше 20 мкм («мелких» кластеров). По нашему мнению, с наличием таких кластеров связаны наблюдаемые изменения физико-химических свойств воды при ультразвуковом воздействии [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Лукьяница В.В. Влияние ультразвука на водородный показатель воды, используемой в технологии микро- и нанoeлектроники / В. В. Лукьяница // Материалы и структуры современной электроники: сб. науч. тр. IX Междунар. науч. конф., Минск, 14–16 окт. 2020 г. / Минск: БГУ, 2020.– С. 85–88.
2. Лукьяница В.В. Структурные изменения воды под действием аппарата УВЧ-терапии // Медицинский журнал. 2010. № 4. С.87–90.

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ



ВУЗОВСКАЯ НАУКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ,
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Материалы
XI Международной научной конференции

Минск, 16–18 октября 2024 г.

Научное электронное издание

Минск, БГУ, 2025

ISBN 978-985-881-739-8

© БГУ, 2025