

ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДЕСОРБЦИЮ МИКРОЧАСТИЦ С ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА В ЖИДКОСТЬ

Е.Ю. А с с е н д е л ь ф т, В.И. Б е к л е м ы ш е в,
И.И. М а х о н и н, Ю.Н. П е т р о в,
А.М. П р о х о р о в, В.И. П у с т о в о й

Воздействие интенсивного импульсного лазерного излучения на жидкость приводит к возбуждению в ней акустических волн. Механизмы генерации звука различны. Их можно разделить на три группы в зависимости от интенсивности излучения, поглощаемого средой [1]: тепловой, когда основную роль играет тепловое расширение слоя жидкости; испарительный, происходящий при импульсном испарении жидкости с поверхности или ее взрывном вскипании внутри объема; оптический пробой пара или самой жидкости, приводящий к образованию быстро расширяющейся плазменной области. С увеличением плотности энергии, вводимой в среду, развиваются нелинейные эффекты, происходит смешивание вкладов различных механизмов возбуждения. Это сильно осложняет описание генерации и распространения звуковой волны. Однако выполненные теоретические и экспериментальные работы позволили найти основные закономерности возбуждения акустических колебаний в жидкости. Так, определены границы преимущественного вклада каждого из трех механизмов, рассчитана эффективность преобразования электромагнитной энергии в звуковую, получены решения для амплитуды звуковой волны при различных условиях возбуждения [2, 3].

Существенная особенность оптического возбуждения звука — это его бесконтактность. Генерация происходит без участия промежуточных устройств между генератором и жидкостью, что позволяет управлять параметрами звукового поля на расстоянии. Это привело к широкому использованию оптико-акустических методов в спектроскопии газов, твердых тел и жидкостей, а также в дефектоскопии. В то же время звуковая волна, распространяясь в жидкости и оказывая механическое воздействие на поверхность твердого тела, может влиять на количество адсорбированных на его поверхности микрочастиц.

Целью настоящей работы было исследование влияния возбужденной светом звуковой волны в воде на десорбцию микрочастиц с поверхности кремниевой пластины. Возбуждение производилось импульсным CO_2 лазером с энергией импульса 300 мДж и характерной длительностью 10^{-7} с. Облучение проводилось с разной степенью фокусировки, что позволяло изменять интенсивность падающего на жидкость света и тем самым переходить от одного механизма возбуждения звука к другому с иным диапазоном давлений. Микрочастицы, представляющие собой следы разложения фенольной смолы, размером от 0.1 до 1 мкм наносились равномерным слоем на поверхность

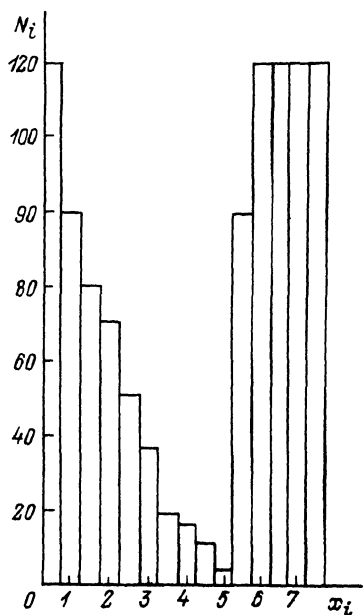
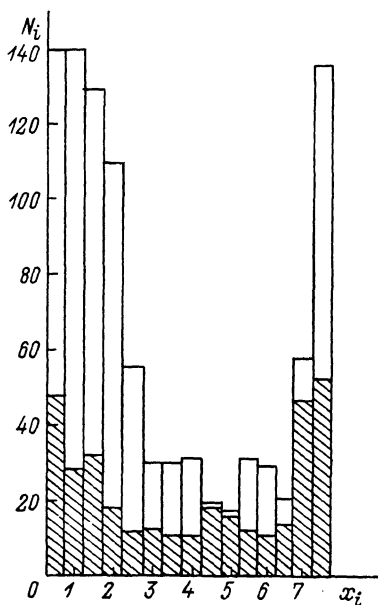


Рис. 1. Распределение поверхностной плотности микрочастиц вдоль диаметра кремниевой пластины при распространении лазерного луча по нормали к центру пластины (N – количество микрочастиц на площадке $0.3 \times 5 \text{ мм}^2$, x – номер площадки, заштрихованная область – распределение при расстоянии между пластиной и поверхностью воды 1 мм, незаштрихованная – 10 мм).

Рис. 2. Распределение поверхностной плотности микрочастиц вдоль диаметра кремниевой пластины при распространении лазерного луча параллельно поверхности (первоначальный уровень загрязнения – 140 и более частиц на измеряемый участок поверхности $0.3 \cdot 5 \text{ мм}^2$).

кремниевых пластин. Пластины помещались в кварцевую кювету, заполненную водой, как параллельно, так и перпендикулярно к поверхности воды. В первом случае расстояние между пластиной и поверхностью менялось от 1 мм до 1 см. Направление распространения лазерного луча совпадало с нормалью к центру пластины. Во втором случае часть пластины находилась над поверхностью воды, и расстояние от пластины до луча составляло 5 мм. После облучения измерялась поверхностная плотность частиц. Распределения плотностей частиц вдоль диаметров пластин представлены на рис. 1, 2. Из первого рисунка видно, что поверхностная плотность частиц неравномерная, имеет минимум в центре. С уменьшением расстояния между пластин-

тиной и поверхностью воды профиль распределения плотности становится более пологим, общее количество частиц на поверхности уменьшается. Во втором случае (рис. 2) минимальная плотность частиц у поверхности воды и она увеличивается с ростом глубины погружения. В точках, достаточно удаленных от области возбуждения звука, поверхностная плотность такая же, как и на не погруженной в воду поверхности.

Полученные результаты можно объяснить тем, что возбуждаемые акустические волны воздействуют непосредственно на адсорбированные частицы и отрывают их от поверхности. Необходимое для этого давление определяется силами адсорбции, действующими между частицей и поверхностью. Расчет этих сил для частиц микронного размера можно провести на основе известной теории Гамакера и Де-Бура, суммируя дисперсионное взаимодействие между молекулами, содержащимися в объеме микрочастицы и подложки. Эта модель дает приближенную формулу для энергии взаимодействия [4]

$$U = - \frac{A^* d}{6h}, \quad (1)$$

где A^* - постоянная Гамакера, для большинства дисперсных систем равная 10^{-19} Дж, d - диаметр сферической частицы, h - зазор между частицей и подложкой. Сила взаимодействия микрочастицы размером 1 мкм при зазоре $h = 10 \text{ \AA}$ (определяемом неровностью поверхности кремниевой пластины) равна

$$F = \frac{A^* d}{6h^2} = 10^{-8} \text{ Н.}$$

Для субмикронных частиц доля молекул, непосредственно контактирующих с поверхностью, увеличивается. При этом в месте контакта наряду с ван-дер-ваальсовыми силами участвуют и ближкодействующие (валентные) силы. Их вклад можно оценить, воспользовавшись работой [5], из которой следует, что сила взаимодействия по порядку величины равна

$$F = \frac{Ne^2}{b^2 4\pi\epsilon_0}, \quad (2)$$

где N - число валентных связей, возникающих в контакте, e - заряд электрона, ϵ_0 - электрическая постоянная, b - период кристаллической решетки. Оценим силу сцепления сферической микрочастицы размером 0.1 мкм с поверхностью кремниевой подложки. Площадь непосредственного контакта с пластиной при неровностях поверхности $h \approx 10 \text{ \AA}$ составляет $\pi \cdot 10^{-13} \text{ см}^2$. Так как поверхностная концентрация атомов кремния порядка 10^{15} ат/см^2 , то на площади контакта может быть реализовано $\pi \cdot 10^2$ валентных связей. Для

кремния $\delta \approx 5 \text{ \AA}$, поэтому сила взаимодействия (2) равна $3 \cdot 10^{-7}$ н. Исходя из полученных значений сил сцепления микро-частицы с поверхностью, давление по фронту акустической волны, необходимое для их отрыва от пластины, должно быть: для частицы размером 1 мкм - $2 \cdot 10^4$ Па, для частицы размером 0.1 мкм - $3.8 \cdot 10^7$ Па.

Такие давления обычно и развиваются при оптико-акустическом возбуждении воды излучением CO_2 лазера. Причем нижняя граница характерна для теплового механизма возбуждения и интенсивностей облучения $\approx 10^6$ Вт/см². Верхнему пределу давления соответствует интенсивность $\approx 10^8$ Вт/см², когда вклад в формирование звукового импульса дают все три механизма возбуждения.

Давления, возникающие в жидкости, можно оценить, используя данные работы [6], где приведен график зависимости возбуждаемого давления от интенсивности падающего на поверхность воды излучения CO_2 лазера. Параметры лазера [6] подобны параметрам нашего лазера. Поэтому можно считать, что диапазон давлений в наших экспериментах составлял $7 \cdot 10^5 - 10^8$ Па, что позволяло эффективно воздействовать на десорбцию микрочастиц. Причем в зоне большего давления, т.е. в точках ближе расположенных к зоне излучения, относительное содержание мелких частиц меньше, чем в дальних. Как видно из рисунков, меняя геометрию возбуждения, можно получать разное распределение концентрации частиц по поверхности. Это может быть использовано для создания нужного поверхностного распределения примесей. Полученные результаты следует учитывать при проведении спектроскопических исследований поверхности оптико-акустическими методами.

Л и т е р а т у р а

- [1] Лямшев М.Л. - УФН, 1981, т. 135, № 4, с. 637-669.
- [2] Божков А.И., Бункин Ф.В., Коломенский А.А., Маляровский А.И., Михалевич В.Г. Тр. ФИАН, М.: Наука, 1984, т. 15, с. 123.
- [3] Коломенский А.А., Лямшев М.Л., Михалевич В.Г., Родин А.М. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1985, в. 49, № 6, с. 1121.
- [4] Адамсон А. Физическая химия поверхностей, М.: Мир, 1979.
- [5] Шуккин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия, М.: МГУ, 1982.
- [6] Бункин Ф.В., Коломенский А.А., Михалевич В.Г., Никифоров С.М., Родин А.М. - Акуст. журн., 1986, т. 32, в. 1, с. 21.