

Очистка поверхностей пластин для использования в микроэлектронике про помощи ультразвуковой кавитации

Михник А.Ю.

Лаборатория «Импульсные электротехнологии» СПбГЭТУ el.imp.tech@gmail.com

Аннотация

Результаты эксперимента

Одним из ключевых факторов качества производства изделий микро- и наноэлектроники является чистота поверхностей, на которых в дальнейшем предполагается формирование нанослоев различных материалов.

Системы, обеспечивающие очистку поверхности, должны удалять загрязнения как крупных, так и малых размеров, при это не допуская повреждения изделий.

Одним из наиболее эффективных в настоящий момент является способ очистки поверхностей с использованием кавитационных процессов в жидкости, возникающих под действием технологического ультразвука. Явление кавитации заключается в образовании парогазовых каверн в жидкости в местах наибольшего изменения акустического давления.

Цель работы заключается в определении области в которой необходимо расположить материал для его эффективной очистки

Выбор метода исследования.

Задача распространения ультразвука в среде от цилиндрического волновода-излучателя – это принципиально двумерная задача, которая в случае не полубесконечной среды практически не имеет аналитического решения. Уравнение, которое описывает процессы, происходящие в жидкости: это уравнение Гельмгольца в цилиндрической системе координат.

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2}$$

где Φ – потенциал, c_0 – скорость звука в среде, r и z – координаты исследуемой точки (рисунок 1), t – время. Так или иначе, при его решении приходится обращаться к ЭВМ.

Также, задача усложняется тем, что под действием ультразвука в жидкости возникают парогазовые каверны, которые существенно искажают распределение давления.

Поэтому главный метод исследования, который мы выбрали, это эксперимент на физической модели.

Порядок проведения эксперимента.

В бассейне с водой, в которую на глубину 1 см был погружён торец волновода, располагалась система, которая обеспечивала перемещение гидрофона. С помощью этой системы было измерено пространственное распределение акустического давления. Шаг измерения 0.5 см по радиусу и глубине. В области, непосредственно примыкающей к волноводу (1см) измерения не проводились. В каждой точке проводилось по 3 измерения. С каждым волноводом было проведено по три эксперимента, с различными уровнями мощности источника питания УЗ системы (полная, $\frac{3}{4}$, а также, половина мощности).

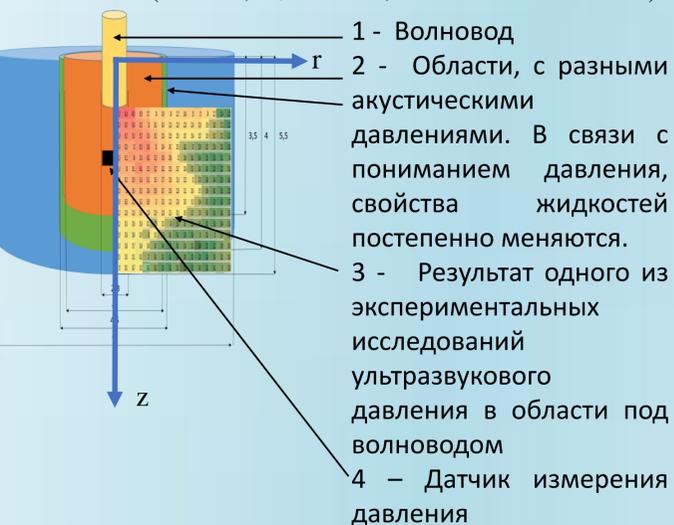


Рисунок 1. Картина распределения акустического давления в жидкости.

Во всех экспериментах наблюдалось существование двух областей где акустическое давления остаётся практически неизменным («полочки» показанные на рисунке 2 и рисунке 3). Пространственное расположение первой из этих областей изменяется в зависимости от мощности и применяемого волновода, а значения акустического давления в этой области оказывалось одинаковым (около 30 кПа) во всех экспериментах.

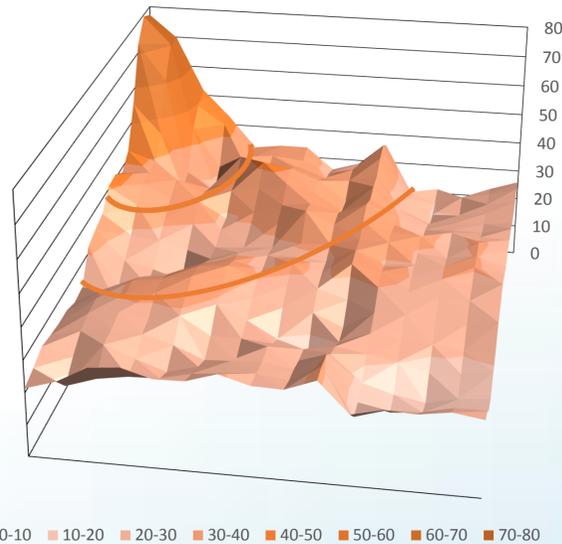


Рисунок 2. Трёхмерная картина распределения акустического давления в жидкости.

Пространственное расположение второй находится в области с давлением от 19 до 21 кПа. Во всех экспериментах эта область непосредственно примыкает к стенкам камеры. Её существование связано с наложением прямой и обратной, отражённой от стенок камеры, волн. Этот вывод подтверждается результатами численного решения уравнения Гельмгольца. Результат этого решения, выполненного в программе Ансис для Геометрии, которую мы исследовали экспериментально, приведен на рисунке 4.

Другой особенностью поведения жидкости, о которой можно сказать, смотря на полученные данные, является существование двух областей с круто падающим давлением. Одна из них находится в диапазоне от 30 кПа и выше, другая – от 20 до 30 кПа. Причём на первом участке падение давления происходит стремительнее, чем на втором.

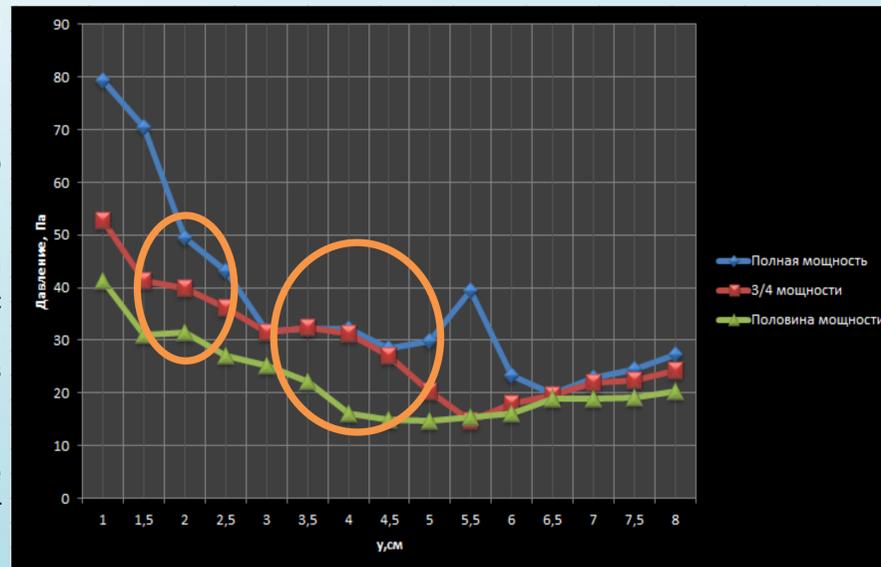


Рисунок 3 - Распределение давления на шаге 0,5 см от оси большого волновода.

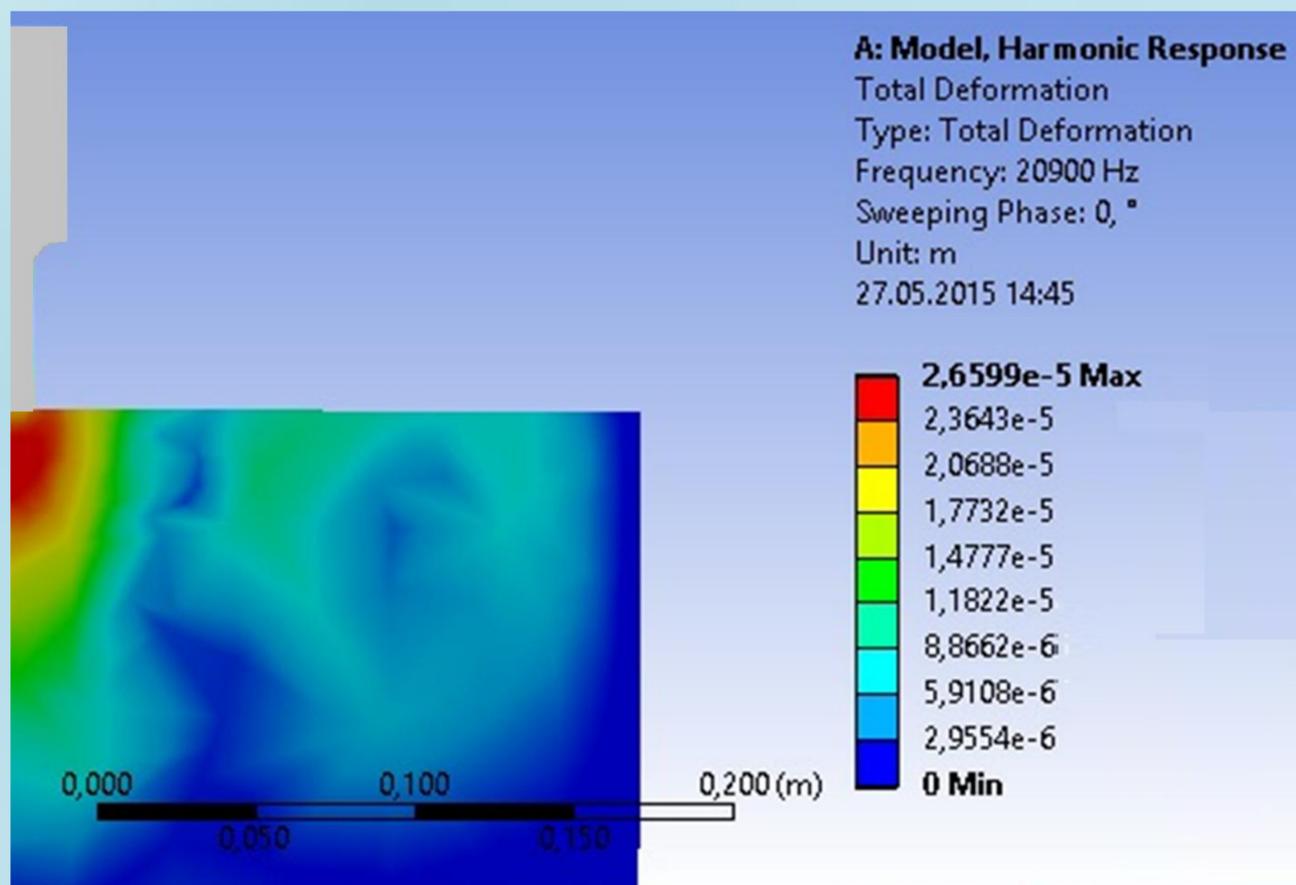


Рисунок 4 – Результаты численного моделирования. Распределение давления по объему камеры

Выводы по проведённым исследованиям

УЗ давление однозначно определяет мощность УЗ воздействия поэтому в области, в которых это давление резко уменьшается происходит диссипация энергии за счёт которой образуются кавитационные пузырьки. Таким образом, очищаемые образцы целесообразно располагать в областях, где есть резкие перепады акустического давления, а значит, и кавитация.