

Область изобретения

Настоящее изобретение направлено на технологию и конструкцию эффективных акустических (звуковых и ультразвуковых) преобразователей объёмных волн для одновременной работы по меньшей мере в двух частотных диапазонах. Преобразователи могут, например, применяться для получения ультразвуковых изображений в медицине, неразрушающем контроле, промышленных и биологических инспекциях, в геологии и гидроакустических приложениях, но не ограничиваясь этими приложениями.

Уровень техники

Использование нелинейной упругости тканей и микропузырьков для создания ультразвукового контраста при получении медицинских ультразвуковых изображений обеспечивает улучшенные изображения с меньшим шумом. Самое широкое использование находит в получении так называемого гармонического изображения, где для создания изображения используется второй гармонический компонент передаваемого частотного диапазона. В патенте США № 6461303 для создания изображения также представлено использование третьего и четвёртого гармонического компонентов передаваемого импульса.

Передаваемые импульсы с двумя частотными диапазонами использовались в М-режиме и в Доплеровских измерениях, описанных в Британском журнале по болезням сердца за январь 1984 г., № 51(1), стр.61-69. Дальнейшие примеры показаны в патенте США №5410516, где были зарегистрированы суммарный и разностный диапазоны, созданные при нелинейном рассеянии от микропузырьков из контрастного материала. Дальнейшее развитие этой передачи двойного диапазона сделано в патенте США № 6312383 и в заявке на патент США № 10/864992.

Заявки на патент США №№ 10/189350 и 10/204350 подробно описывают использования групп излучаемых ультразвуковых и акустических импульсов, которые обеспечивают изображения с уменьшенным шумом, изображения при нелинейном рассеянии и количественные параметры объекта, которые значительно расширяют использование ультразвуковых и акустических изображений. Эти способы могут применяться как при получении изображений при пропускании, так и при обратном рассеянии. Для этих приложений используется излучение групп импульсов в двух частотных диапазонах, как показано на примере на фиг. 1, где на фиг. 1a высокочастотный (ВЧ) импульс 101 "едет" на пике давления низкочастотного (НЧ) импульса 102. На фиг. 1b показана другая ситуация, где ВЧ импульс 103 "едет" на максимальном градиенте НЧ импульса 102. Отношения центральных частот низкочастотного и высокочастотного импульсов обычно могут находиться в диапазоне от 1:5 до 1:20, причем в то же самое время ВЧ импульс должен находиться в заданных интервалах НЧ импульса во всем заданном диапазоне глубины изображений. Эти требования создают следующие две проблемы для конструирования решёток преобразователей:

1. Для того чтобы ВЧ импульс распространялся в пределах диапазона НЧ импульса во всем заданном диапазоне глубины изображения, поверхности для излучения высокой частоты и низкой частоты должны иметь большую общую область. Обычно требуется, чтобы давления в низкочастотном и высокочастотном импульсе были порядка МПа, в зависимости от применения. Это требует высокой эффективности преобразования электрической энергии в акустическую энергию, которую при нынешней технологии преобразователей получают при резонансной работе преобразователей, которая, в свою очередь, даёт ограниченный рабочий частотный диапазон современных решёток преобразователей, не покрывающий требуемый частотный диапазон (обычно от 1:5 до 1:15) для описанных применений. Поскольку требуется, чтобы большая часть поверхностей излучения высокой частоты и низкой частоты была общей, этот широкий диапазон представляет особые проблемы при проектировании структурной вибрации решёток.

2. Большое частотное разделение между ВЧ и НЧ импульсами означает, что длина волны НЧ импульсов много больше, чем длина волны ВЧ импульсов, обычно от 5 до 15 раз, что означает, что пучок НЧ импульса подвергается много большей дифракционной расходимости, чем пучок ВЧ импульса. Для адекватной коллимации НЧ пучка, чтобы поддерживать высокие давления низкой частоты на больших глубинах, в определённых приложениях необходимо использовать большую ширину НЧ апертуры по сравнению с шириной ВЧ апертуры. Это приводит к скольжению положения ВЧ импульса относительно НЧ импульса с дальностью распространения, что устанавливает специальные требования для создания поверхностей излучения двух частотных диапазонов.

В другом применении от этого же самого преобразователя требуется излучать низкую частоту (например, от 0,5 до 2 МГц) для лечения (гипертермия или кавитационное разрушение ткани), но при этом обеспечивая получение ультразвукового изображения от той же поверхности преобразователя на более высокой частоте (например, от 5 до 10 МГц). В других применениях требуется иметь больший частотный диапазон, необходимый для получения изображения от того же преобразователя при больших изменениях диапазона глубины.

Настоящее изобретение представляет несколько решений этих проблем проектирования преобразователей, которые могут передавать/принимать группы ультразвуковых импульсов двух частотных диапазонов с большим разделением между низкой и высокой частотами и с ограниченным скольжением положения/фазы между излучёнными ВЧ и НЧ импульсами с глубиной. В этом изобретении основное внимание отводится ситуации, где излучается группа ВЧ/НЧ импульсов с приёмом только в полосе высокой частоты, хотя ясно, что, благодаря принципу взаимности, преобразователи также могут быть использо-

ваны для приёма НЧ полосы.

Сущность изобретения

Изобретение представляет решения общей потребности в ультразвуковом преобразователе, который передает/принимает ультразвуковые импульсы с частотами в широко разнесённом низкочастотном (НЧ) и высокочастотном (ВЧ) диапазонах через, по меньшей мере, общую поверхность излучения, так что НЧ и ВЧ пучки импульсов перекрываются перед преобразователем с определёнными фазовыми соотношениями.

В одном варианте выполнения в соответствии с изобретением НЧ и ВЧ импульсы генерируются отдельными пьезоэлектрическими слоями, расположенными друг над другом, причём ВЧ слой находится спереди, и между ВЧ и НЧ слоями находится изолирующая секция, составленная по меньшей мере из двух акустических слоёв. Обратный слой изолирующей секции предпочтительно является тяжёлым материалом, например Cu, Ag, Au, Pd, Pt, W или сплавы из таких материалов, или смеси из порошков таких материалов, или их сплавы, спечённые вместе или склеенные в растворителе, таком как полимер. Изобретение также представляет решение, в котором обратный слой изолирующей секции является керамической частью НЧ пьезослоя. Этот керамический обратный слой удобным образом объединен с тонким слоем (порядка $\lambda/20$) из тяжёлого материала, подобного Cu, Ag, Au, Pd, Pt, W или смесям порошков из таких материалов и полимера.

В другом варианте выполнения в соответствии с изобретением один из НЧ и ВЧ импульсов генерируется вибрирующими мембранами на подложке, которые активируются посредством технологии емкостных/пьезоэлектрических ультразвуковых преобразователей с машинной обработкой (cmut/pmut), тогда как другой из НЧ и ВЧ импульсов генерируется пьезослоем. Ещё в одном из вариантов выполнения согласно изобретению как НЧ, так и ВЧ импульсы генерируются емкостными/пьезоэлектрическими ультразвуковыми преобразователями с машинной обработкой (cmut/pmut) - мембранами на общей подложке, либо расположенными бок о бок, либо с расположением ВЧ мембран сверху НЧ мембран.

Изобретение может также быть использовано с разреженными решётками, в которых дифракционные максимумы от ВЧ апертуры должны отличаться от возможных дифракционных максимумов НЧ апертуры, чтобы подавить влияние излучённых ВЧ дифракционных максимумов, например, при технологии получения изображений согласно патентным заявкам США №№ 10/189350 и 10/204350.

Антенные решётки могут быть обычного типа, например линейно фазированные или коммутируемые решётки, или кольцевые решётки. Расстояния между элементами линейных решёток в вертикальном направлении, например, до 1,5D, 1,75D и даже до полной 2D решётки попадают в объем изобретения. Кроме того, разделение элементов ВЧ решёток и НЧ решёток может сильно отличаться. Изобретение также описывает устройство, использующее двухчастотные ультразвуковые преобразователи в соответствии с изобретением, в котором, по меньшей мере, область излучения НЧ апертуры может избирательно изменяться, чтобы быть равной ВЧ передающей апертуре, больше, чем ВЧ апертура, и в котором область ВЧ излучения является частью области НЧ излучения, или же область ВЧ излучения может содержать центральную область без НЧ излучения. НЧ передающая апертура может выбираться устройством автоматически в зависимости от глубины изображения и способа получения изображения, или вручную оператором устройства с панели управления устройством.

В этом изобретении нас в основном интересует передача групп импульсов двух частотных диапазонов, где, как это понятно специалисту, решётки могут и будут использоваться для приёма ультразвуковых импульсов как в НЧ, так и в ВЧ диапазоне. Способы, приведённые в патентных заявках США №№ 10/189350 и 10/204350, описывают приём только рассеянного в обратном направлении ВЧ импульса, где естественно, что ВЧ решётка может использовать динамически расширяющуюся с глубиной приёмную апертуру, согласно известным способам, где ВЧ приёмная апертура для больших глубин обычно может быть равной или даже больше, чем НЧ передающая апертура.

Описание чертежей

Фиг. 1 показывает примеры низкочастотных (НЧ) и высокочастотных (ВЧ) групп импульсов, которые нужно передать;

фиг. 2 - пример кольцевых НЧ и ВЧ излучающих поверхностей согласно изобретению, а также для анализа фазовых соотношений НЧ и ВЧ импульсов;

фиг. 3 - разрез расположения НЧ и ВЧ пакетированных пьезослоёв согласно изобретению, которое позволяет передавать и принимать ВЧ и НЧ импульсы через общую переднюю поверхность;

фиг. 4 - пример частично разрезанного НЧ пьезослоя, который в соответствии с изобретением присутствует в изолирующей секции между ВЧ и НЧ пьезослоями;

фиг. 5 - вид спереди преобразователя фазированной решётки в соответствии с изобретением;

фиг. 6 - пример устройства пьезослоя, работающего в двух частотных диапазонах, в котором уменьшен электрический импеданс элементов решётки;

фиг. 7 - вид спереди подложки с микромашиной обработкой преобразующих ячеек емкостного или на основе пьезослоя ультразвукового преобразователя;

фиг. 8 - разрез блока преобразователя, в котором ВЧ преобразование происходит в ячейках с микромашиной обработкой емкостного или на основе пьезослоя ультразвукового преобразователя на под-

ложке перед пьезослоем для НЧ преобразования;

фиг. 9 показывает разрез блока преобразователя, в котором НЧ преобразование происходит в ячейках с микромашиной обработкой емкостного или на основе пьезослоя ультразвукового преобразователя, на подложке перед пьезослоем для ВЧ преобразования;

фиг. 10 - вид спереди и разрез объединённой НЧ и ВЧ части, выполненной посредством преобразовательных ячеек с микромашиной обработкой емкостного или на основе пьезослоя ультразвукового преобразователя на подложке, где ВЧ ячейки помещены наверх НЧ ячеек;

фиг. 11 - вид спереди НЧ и ВЧ решётки, выполненной как разреженная решётка, в которой ВЧ и НЧ элементы расположены друг между другом;

фиг. 12 - вид спереди комбинированной секции низкой и высокой частоты, выполненной посредством преобразовательных ячеек с микромашиной обработкой емкостного или на основе пьезослоя ультразвукового преобразователя на подложке, в которой низкочастотные и высокочастотные ячейки расположены бок о бок.

Подробное описание изобретения

Иллюстративные варианты выполнения изобретения ниже описаны со ссылкой на чертежи. Типичные примеры импульсов с двумя частотами, которые должны быть излучены, показаны на фиг. 1, как описано выше. Проблемы в области конструирования решёток лежат как в области конструирования излучающих поверхностей, так чтобы ВЧ импульс оставался в требуемом месте относительно НЧ импульса для всего диапазона изображения, и чтобы в то же время поддерживалась адекватная амплитуда НЧ импульса, так и в области конструировании колебательной структуры, которая позволяет передавать НЧ и ВЧ импульсы с таким широким разделением между частотами с одной и той же поверхности.

В некоторых применениях важно, чтобы амплитуда НЧ импульса в месте расположения ВЧ импульса была как можно выше и близка к постоянной для всего диапазона изображения. Это требует больших апертур НЧ излучающей поверхности, чтобы избежать дифракционной расходимости пучка низкой частоты, из-за большой длины волны НЧ импульса, по сравнению с ВЧ импульсом. Ширина излучающей апертуры высокой частоты может быть ограничена требованием на длину фокальной области ВЧ излучения. Это создаёт ситуацию, в которой предпочтительна НЧ апертура большего размера, чем ВЧ апертура, что приводит к скольжению положения ВЧ импульса относительно НЧ импульса.

Для дальнейшего анализа явления скольжения мы рассматриваем круглые апертуры, поскольку существуют аналитические выражения поля на оси таких апертур. На фиг. 2 в качестве примера показана круглая апертура 201 для излучения высокой частоты с диаметром D_{HO} и концентрическую апертуру 202 для излучения низкой частоты, которая, например, показана как кольцо с внешним диаметром D_{LO} и внутренним диаметром D_{LI} . Схема поперечного сечения показывает НЧ и ВЧ апертуры как элемент 203, где они в качестве примера являются криволинейными, с общим фокусом F , обозначенным номером позиции 204. Передаваемое осевое непрерывное волновое поле для НЧ и ВЧ апертур на частоте ω является функцией осевого расстояния z , которая имеет вид:

$$P_{LF}(z; \omega) = H_{LF}(z; \omega) P_{LO} = i2e^{-ik(R_{LO}(z) + R_{LI}(z))/2} \frac{\sin k(R_{LO}(z) - R_{LI}(z))/2}{F - z} FP_{LO} \quad (1)$$

$$P_{HF}(z; \omega) = H_{HF}(z; \omega) P_{HO} = i2e^{-ik(R_{HO}(z) + z)/2} \frac{\sin k(R_{HO}(z) - z)/2}{F - z} FP_{HO}$$

где $k = \omega/c$, ω является угловой частотой передаваемого импульса, а c является скоростью распространения ультразвука. Величина $R_{LO}(z)$, показанная номером позиции 205, является расстоянием от внешнего края LF-апертуры до точки z (208) на оси z . Величина $R_{LI}(z)$, показанная номером позиции 206, является расстоянием от внутреннего края LF-апертуры до 208 на оси z , и $R_{HO}(z)$, показанное как 207, является расстоянием от внешнего края HF апертуры до 208 на оси z . Величина P_{LO} является передаваемым давлением низкой частоты в апертуре, тогда как P_{HO} является передаваемым давлением высокой частоты в апертуре. Фазовые множители представляют собой среднее время запаздывания, соответственно, от НЧ и ВЧ апертур:

$$\tau_{LF}(z) = \frac{1}{2c}(R_{LO}(z) + R_{LI}(z)) \quad \tau_{HF}(z) = \frac{1}{2c}(R_{HO}(z) + z) \quad (2)$$

Таким образом, видно, что когда границы НЧ и ВЧ передающих апертур различны, высокочастотные и низкочастотные импульсы получают зависящую от координаты z задержку времени распространения, которые отличаются друг от друга, при этом ВЧ импульс будет скользить с глубиной относительно НЧ импульса, как показано номерами позиций 209 - 211 для глубин z_1 , z_2 и z_3 . Хотя приведённые выше формулы получены для круглых апертур, они показывают общий принцип для апертур произвольной формы, поскольку излучённый пучок получается как результат интерференции между сферическими волнами с источником во всех точках апертуры (принцип Гюйгенса). Следовательно, волны, исходящие из точек, расположенных на НЧ апертуре вне ВЧ апертуры, будут иметь большее расстояние распространения до оси, чем точки, расположенные на ВЧ апертуре. Разница между этими расстояниями распространения изменяется с глубиной z , которая отвечает за скольжение положения между ВЧ и НЧ импульсом.

Видно, что когда НЧ и ВЧ передающие апертуры одинаковы, скольжение между НЧ и ВЧ импульсами отсутствует, но, как было отмечено, это обстоятельство может во многих случаях ограничивать НЧ передающую апертуру, что приводит к слишком большой расходимости пучка из-за дифракции. Поэтому часто желательно иметь более широкую НЧ передающую апертуру, нежели ВЧ передающую апертуру. Это создаёт некоторое скольжение между ВЧ и НЧ импульсами с глубиной, которое может быть установлено в допустимых пределах за счёт выбора размеров передающих апертур. Такое скольжение может также быть использовано в различных целях, например, чтобы компенсировать изменения амплитуды НЧ импульса, так чтобы наблюдаемое НЧ давление в месте нахождения ВЧ импульса имело меньшие изменения с глубиной, чем амплитуда НЧ импульса.

Следовательно, различные измерительные ситуации выдвигают различные требования к допустимым изменениям НЧ амплитуды, а также скольжению положения между ВЧ и НЧ импульсами, и часто желательно, чтобы, по меньшей мере, НЧ передающая апертура была составлена из элементов так, чтобы её эффективная ширина могла быть выбрана вместе с относительным согласованием по времени излучения ВЧ и НЧ импульсов, так что в желаемом диапазоне расстояний можно получить наилучшие возможные амплитуды и относительные положения двух импульсов. Изобретение предлагает ультразвуковое устройство, использующее такой преобразователь, в котором выбор активной поверхности НЧ передающей апертуры может быть сделан этим устройством автоматически, в зависимости от применения (например, подавления шума от многократного рассеяния или обнаружения микропузырьков контрастного вещества) и глубины изображения, или же вручную оператором устройства. Также желательно изменять ВЧ передающую апертуру, а во время приёма рассеянного ВЧ сигнала обычно желательно, чтобы приёмная апертура динамически увеличивалась с фокусным расстоянием для отслеживания расстояния до рассеивателя. Следовательно, предпочтительным решением является комбинированная НЧ и ВЧ решётка с общими излучающими поверхностями, в которой реальные НЧ и ВЧ передающие апертуры могут быть выбраны в зависимости от применения, и в которой НЧ передающая апертура обычно больше, чем ВЧ излучающая апертура, в то время как ВЧ приёмная апертура может выбираться такой же широкой или, возможно, более широкой, чем НЧ передающая апертура при больших глубинах, например, посредством динамически изменяющейся с глубиной приёмной апертуры.

В приведённом выше примере НЧ и ВЧ апертуры имеют общие фокусы, что в большинстве случаев является преимуществом, но разница в фокусах передаваемой низкой частоты и высокой частоты может также быть использована при проектировании пучков для различных целей. Посредством разделения апертур на элементы решётки можно осуществлять электронное управление фокусными расстояниями как НЧ, так и ВЧ апертур, а также направлениями пучков согласно известным способам, как, например, описано в связи с фиг. 5 ниже.

Традиционные поверхности излучения создают проблемы при структурном проектировании электроакустического преобразования из-за широкого разделения между низкочастотной и высокочастотной полосой, тогда как настоящее изобретение обеспечивает несколько решений этой проблемы. На фиг. 3 показан первый пример блока из пьезоэлектрических и акустических слоёв, который позволяет осуществлять передачу НЧ и ВЧ импульса с широко разнесёнными частотами с одной и той же излучающей поверхностью. На чертеже показано поперечное сечение слоистой конструкции, которая излучает и принимает оба частотных диапазона с помощью, по меньшей мере, общей излучающей поверхности 302 в контакте с материалом 301 акустической нагрузки. Для типичных применений как низкочастотные, так и высокочастотные компоненты могут, кроме того, передаваться или приниматься через отдельные поверхности вне общей поверхности. Однако для одинаковых низкочастотных и высокочастотных функций передачи по всей апертуре выгодно использовать блок одинаковой толщины по всей апертуре и ограничивать НЧ и ВЧ апертуру областями электродов активного элемента, как это описано ниже.

ВЧ импульс принимается и/или генерируется преобразовательным блоком 303 решётки, который в этом примере составлен из пьезоэлектрического слоя 304 с двумя акустическими согласующими слоями 305 и 306 спереди, которые соединены с материалом 301 акустической нагрузки. Пьезоэлектрический слой имеет систему электродов на передней и задней гранях, которые электрически ограничивают элементы решётки, где в качестве примера на фиг. 3 показано поперечное сечение электродов 307 и 308 для одного элемента решётки, которые создают электрический вход 309 для этого элемента. Возбуждение электрического входа 309 сигналом V_1 электрического напряжения в ВЧ полосе создаёт колебания на излучающей поверхности 302, которые создают волну 310, распространяющуюся в материал нагрузки с частотами в высокочастотной полосе. Подобным же образом приходящая волна 311 с частотами в высокочастотной полосе создаёт колебания электрического напряжения на высокочастотном входе 309.

Низкочастотный импульс в этом иллюстративном варианте выполнения генерируется преобразовательным блоком 312 решётки, который составлен из пьезоэлектрического слоя 313, покрытого на передней стороне слоистой секцией 317 для акустической изоляции ВЧ колебаний в ВЧ структуре от НЧ структуры. Эта секция изоляции высокой частоты обеспечивает высокий коэффициент отражения от высокочастотного блока 303 в направлении низкочастотного блока 312, чтобы избежать помехи НЧ структуры на резонансах ВЧ структуры. Секция 317 составлена по меньшей мере из двух акустических слоёв, в которой задний слой или группа слоёв 318 этой секции имеют высокий акустический импеданс по при-

чинам, описанным ниже. Весь преобразовательный блок установлен на материале 320 подложки с таким высоким поглощением, что отражёнными волнами в материале подложки можно пренебречь. Импеданс материала подложки должен быть адекватно высок для должного эффекта, создаваемого изолирующей секцией 317, как описано ниже.

Этот чертёж также показывает поперечное сечение электродов 314 и 315 для отдельного НЧ элемента решётки. Электроды образуют НЧ электрический вход 316, при этом возбуждение этого порта сигналом электрического напряжения V_0 в низкочастотной полосе создаёт НЧ колебания на передней грани 302 решётки, что приводит к излучению волны 310 в материал 301 нагрузки. В НЧ полосе толщина секции 317 настолько мала, что она адекватно передаёт НЧ колебания. Для многих применений низкочастотная решётка используется только как передатчик, но любому специалисту понятно, что, когда это необходимо, она может также использоваться для приёма НЧ волн.

Пьезоэлектрические слои чаще всего изготавливаются из сегнетоэлектрической керамики или композита из сегнетоэлектрической керамики и полимерного наполнителя согласно известным способам. Сегнетоэлектрическая керамика становится пьезоэлектрической, когда она поляризована. Элементы в ультразвуковой решётке могут быть ограничены путем выполнения разрезов в пьезослое, причем в случае композитных материалов на основе керамики/полимера эти разрезы могут совпадать с разрезами композитного материала, где для ограничения элементов решётки использованы электроды. Электроды элементов часто используются для поляризации керамики и затем для обеспечения двойного ограничения элементов.

Толщина ВЧ пьезослоя 304 много меньше, чем толщина НЧ пьезослоя 313, благодаря широкому разделению высоких и низких частот. По этой причине при выполнении разрезов между элементами или в композитном материале НЧ слоя требуется более толстое лезвие пилы, чем для выполнения разрезов в ВЧ слое. Поэтому при практическом изготовлении трудно управлять тем, чтобы керамические столбики ВЧ слоя соединялись с керамическим или полимерным наполнителем в НЧ пьезослое. Чтобы добиться того, чтобы изоляционные свойства для ВЧ частоты согласующей секции 317 имели достаточно низкую чувствительность к присоединению в НЧ керамический или полимерный наполнитель, изобретение рекомендует, чтобы обратный слой или группа слоёв 318 секции 317, близких к НЧ пьезослою 313, были выполнены из тяжёлых материалов, подобных Ag, Cu, Au, Pd, Pt и W, или даже керамического материала, как описано ниже. Большая жёсткость слоя (слоёв) 318 на сдвиг также способствует уменьшению чувствительности к соединению 317 с керамическим или полимерным наполнителем, но большая жёсткость 318 на сдвиг также вносит связь через поперечные колебания между НЧ элементами и, следовательно, толщина этого слоя должна быть ограничена, но при этом делая импеданс, если смотреть с передней стороны в секцию 317, адекватно нечувствительным к соединению с керамическим или полимерным наполнителем на обратной стороне. Толщина слоя (слоёв) 318 меньше, чем $\lambda/20$, является полезной, как описано ниже. Из перечисленных металлов Ag, Au, Pd и Pt имеют наиболее низкую жёсткость на сдвиг и в то же время высокую плотность, что делает материалы наиболее эффективными для уменьшения чувствительности к соединению с керамическим или полимерным наполнителем при очень низкой поперечной связи между НЧ элементами решётки. Другие слои изолирующей секции 317 обычно выбираются с толщиной $\lambda/4$ на высокой частоте.

В качестве примера, влияние слоя (слоёв) 318 на импеданс, если смотреть с передней стороны в секцию 317, приведено на фиг. 3b-d. На фиг. 3b изолирующая секция 317 состоит из одного полимерного слоя толщиной $\lambda/4$ на частоте 10 МГц. Кривая 321 показывает импеданс в 317 как функцию частоты, когда слой соединяется с керамикой на обратной стороне. Импеданс в керамику слоя 313 осциллирует между низким значением импеданса z_B подложки, когда керамика имеет толщину, равную целому числу $\lambda/2$, и высокое значение $(z_{cer})^2/z_B > z_B$, когда керамика имеет толщину, равную нечётному числу $\lambda/4$. Величина z_{cer} является характеристическим импедансом керамики. Полимерный слой 317 толщиной $\lambda/4$ затем трансформирует этот импеданс в осцилляции с частотой, где близко к 10 МГц мы получаем минимальное значение, близкое к $(z_{poi}/z_{cer})^2 \cdot z_B$, и максимальные значения, близкие к z_{pol}^2/z_B , где z_{pol} является характеристическим импедансом $\lambda/4$ полимерного слоя. Кривая 322 показывает импеданс, если смотреть спереди в 317, как функцию частоты, когда слой соединяется с полимерным наполнителем между НЧ керамическими столбиками. Импеданс в полимерный наполнитель в слое 313 осциллирует между высоким значением импеданса z_B подложки, когда наполнитель имеет толщину целое число $\lambda/2$, и низким значением $(z_{fill})^2/z_B < z_B$, когда наполнитель имеет толщину нечётное число $\lambda/4$. Величина z_{fill} является характеристическим импедансом полимерного наполнителя между керамическими столбиками в композитном материале из керамики/полимера слоя 313. Полимерный слой 317 толщиной $\lambda/4$ затем трансформирует этот импеданс в осциллирующие изменения, где вблизи 10 МГц максимальные значения близки к $(z_{pol}/z_{fill})^2 \cdot z_B$, а минимальные значения близки к z_{pol}^2/z_B .

На фиг. 3c показан импеданс, если смотреть спереди в секцию 317, когда на обратную сторону $\lambda/4$ полимерного слоя, описанного на фиг. 3b, введён слой 318 Cu толщиной 20 мкм (около $\lambda/25$ Cu). Кривая 323 показывает импеданс, если смотреть с передней стороны в секцию 317, когда слой Cu присоединён к полимерному наполнителю между НЧ керамическими столбиками. Слой Cu этой толщины даёт добавоч-

ный индуктивный импеданс нагрузки массой Cu , наблюдаемый, если смотреть в наполнитель, который увеличивает импеданс, видимый со стороны $\lambda/4$ слоя в направлении назад, и $\lambda/4$ слой превращает этот импеданс в импеданс < 2 Мрейл в диапазоне от 7 до 13 МГц, что обеспечивает очень хорошую изоляцию от высокочастотной к низкочастотной секции в этой полосе. Кривая 324 показывает импеданс, если смотреть в секцию 317, когда секция присоединена к НЧ керамическим столбикам. Заметим, что влияние слоя меди (Cu) даёт меньшие отличия кривой 324 от кривой 321, чем кривой 323 от 322 при присоединении к полимерному наполнителю. Причина состоит в том, что, поскольку керамика имеет высокий характеристический импеданс, слой Cu в основном изменяет частоты низкого и высокого импеданса, наблюдаемые с задней стороны $\lambda/4$ слоя, и не так сильно значение низкого и высокого импеданса. Однако если использовать достаточно большой обратный импеданс, например $z_b=5$ Мрейл в данном примере, максимальные входные импедансы изолирующей секции 317 при соединении с керамикой остаются ниже 2 Мрейл в диапазоне от 7 до 13 МГц, что в этом диапазоне даёт высокую изоляцию со стороны высокочастотной секции.

Влияние слоя меди на ВЧ функцию электроакустического преобразования показано на фиг. 3d. Кривая 325 показывает ВЧ функцию передачи, когда изолирующая секция 317 составлена из одного $\lambda/4$ полимерного слоя, как на фиг. 3b, и присоединена к полимерному наполнителю на обратной стороне. Заметим, что эта кривая показывает резонансы вследствие внутренних ВЧ отражений в НЧ секции 312, потому что кривая 322 импеданса не обеспечивает адекватного отражения на обратной стороне ВЧ пьезослоя 304. Введение слоя 318 из меди толщиной 20 мкм изменяет эту функцию передачи, как представлено на кривой 326, где резонансы, возникающие благодаря отражениям в НЧ секции, исчезли. Кривая 328 показывает функцию передачи без слоя (слоёв) 318 и, когда секция 317 непосредственно соединена с керамикой, эта кривая приближается к 327, когда введён слой из меди. Заметим, что слой из меди удаляет резонансы на кривой 325 и делает функцию передачи 326 для соединения в полимерный наполнитель и функцию передачи 328 для соединения в керамику НЧ секции почти одинаковыми. Этот чертеж, таким образом, показывает, что введение слоя меди делает функцию ВЧ электроакустической передачи нечувствительной к тому, соединяется ли изолирующая секция с полимерным наполнителем или керамикой в слое 313. Электроакустическая функция передачи в двух диапазонах частот может затем принять вид, как показано на фиг. 3e, где 331 показывает функцию передачи для НЧ входа, а 332 показывает функцию передачи для ВЧ входа.

Надо заметить, что важный эффект благодаря наличию этого тонкого слоя из меди заключается в его массе, т.е. ρL , где ρ - плотность слоя и L - толщина слоя, которая вносит индуктивный импеданс. Слой поэтому удобно изготавливать из тяжёлого материала, такого как Cu , Ag , Au , Pd , Pt и W , или сплавов порошков этих материалов, или сплавов, полученных спеканием этих материалов, или склеиванием в растворителе. Использование наиболее тяжёлых материалов позволяют изготавливать наиболее тонкие слои, и, как сказано выше, материалы Ag , Au , Pd и Pt имеют самую низкую жёсткость на сдвиг при их плотности и, следовательно, создают самую слабую поперечную связь между НЧ элементами. Слой 318 может также содержать часть керамики в слое 313, как показано на фиг. 4, где обозначения для одинаковых слоёв соответствуют обозначениям на фиг. 3a. Заполненные полимером разрезы 401 в НЧ пьезослое 313 разрезаны с задней стороны слоя, но не разрезаны полностью через НЧ керамический слой 313, так что керамический слой 402 оставлен полностью и включён в слой (слои) 318 ВЧ изолирующей секции 317. Низкочастотный передний электрод 315 может также быть сделан таким толстым, что будет производить акустический эффект в ВЧ полосе, и может быть также включён как часть слоя (слоёв) 318.

На фиг. 3a показана структура толщины отдельного элемента решётки, где, как понятно любому специалисту, изобретение может быть использовано для построения ультразвуковых решёток любой организации, например кольцевых решёток, линейных фазированных решёток, линейных коммутируемых решёток или линейных решёток с разделением в вертикальном направлении разных размеров, до двумерных (2D) решёток для полного трёхмерного (3D) управления пучками. Размеры НЧ элементов обычно больше, чем ВЧ элементов, поскольку длина волны низкой частоты больше, что благоприятствует использованию НЧ апертур, которые больше, чем ВЧ передающие апертуры, как было отмечено выше. Для больших глубин ВЧ приёмная апертура может также быть больше, чем НЧ передающая апертура, где, в общем, предпочтительно проектировать конструкцию одинаковой толщины по всей решётке и где размер приёмно-передающих апертур можно изменять путём выбора элементов, которые задействованы в решётке.

В качестве примера на фиг. 5 показана типичная линейная фазированная решётка в соответствии с изобретением, где номер позиции 501 показывает элементы ВЧ апертуры фазированной решётки. При соответствующем управлении сигналом на каждом элементе согласно известным способам такая решётка позволяет управлять направлением пучка в пределах сектора в азимутальном направлении. Управление в вертикальном направлении требует разделения элементов также в вертикальном направлении в двумерной (2D) решётке, и в этом месте следует подчеркнуть, что основные способы изобретения применимы также к двумерным (2D) решёткам.

Середина ВЧ полосы этой линейной решётки, например, $f_1=3,5$ МГц, что предполагает расположе-

ние высокочастотных элементов с шагом $\lambda_1/2 \approx 0,22$ мм. ВЧ элементы в количестве 84 штук создают общую апертуру, равную 18,48 мм. Если середина НЧ полосы равна $f_0 = 0,5$ МГц, то получаем $\lambda_0/2 \approx 1,54$ мм, что предполагает использовать 12 НЧ элементов 502, что даёт общую апертуру, равную 18,48 мм. Для лучшей коллимации НЧ пучка можно добавить дополнительные НЧ элементы с каждой стороны от ВЧ элементов, как показано на чертеже, т.е. два элемента 503, увеличивая НЧ азимутальную апертуру до 14 элементов = 21,56 мм. Чтобы увеличить НЧ вертикальную апертуру, можно подобным же образом расширить НЧ апертуру с помощью элементов 504 в вертикальном направлении. Как следует из анализа в отношении фиг. 2, можно использовать одинаковую передающую апертуру для НЧ и ВЧ излучающих поверхностей, когда критическим является то, чтобы фаза между ВЧ и НЧ импульсами имела минимальное скольжение с глубиной, в то время как для того, чтобы на больших глубинах была более высокая НЧ амплитуда, может быть желательным, чтобы для уменьшения дифракционного расширения НЧ пучка с глубиной НЧ передающая апертура была больше, чем ВЧ передающая апертура. Чтобы уменьшить нелинейное влияние НЧ импульса на распространение и рассеяние ВЧ импульса вблизи решётки, желательно удалить центральную излучающую поверхность решётки. Это может быть получено дальнейшим разделением НЧ элементов на подэлементы 505. Низкочастотная решётка, изображенная на фиг. 5, позволяет осуществить выбор размера НЧ апертуры, например, одного из 1) равного ВЧ апертуре, 2) большего, чем ВЧ апертура либо в направлениях азимута и вертикали по отдельности, либо в направлении как азимута, так и вертикали, и 3) НЧ апертуры с неактивной областью в центре ВЧ апертуры. Также обращаем внимание на то, что такое изменение НЧ апертуры относительно ВЧ апертуры получается и при других конструкциях решёток, например кольцевых решёток, т.е. любой специалист может применить суть изобретения к решеткам всех конструкций. Для многих применений можно использовать 2) только, когда это достигается объединением элементов 502/504/505 в один низкочастотный элемент с вертикальным размером, равным или большим ВЧ апертуры, и добавлением дополнительных НЧ элементов в азимутальном направлении (503/504), чтобы получить НЧ апертуру, которая больше ВЧ апертуры в азимутальном направлении.

Чтобы получить одинаковые условия колебаний для НЧ элементов во всей области, можно использовать блок, наподобие показанного на фиг. 3, на всей площади решётки и ограничить НЧ и ВЧ элементы электродами элементов и разрезами в пьезокерамике. Также было бы целесообразно использовать композитные материалы из керамики/полимера как для ВЧ, так и для НЧ пьезоэлектрических слоёв, где размеры элементов могут быть ограничены одними только электродами. Область высокочастотного излучения может быть затем ограничена, например, общим заземлённым электродом на передней стороне, который ограничивал бы ширину элементов по вертикали, как посредством электрической связи, так и путём ограничения областей сегнетоэлектрической керамики, которая поляризована для проявления пьезоэлектрических свойств. Азимутальная ширина ВЧ элементов затем ограничивается потенциальными электродами задней стороны и может легко быть расширена до края блока для электрического соединения с кабелем, когда электроакустическая связь вне заземлённого электрода является низкой.

Слой с высоким акустическим импедансом или группа слоёв 318, изображенная на фиг. 3, обеспечивает меньшую критичность точного положения согласования между разрезами в ВЧ и НЧ пьезослоях, так как входной импеданс секции 317, если смотреть с передней стороны, имеет малые изменения при заделке в полимер или керамику, как было описано в отношении фиг. 3b-d. Эта пониженная чувствительность позволяет разрезать НЧ слой более толстой пилой, чем ВЧ слой, а также уменьшает требования к точному поперечному расположению ВЧ и НЧ слоёв.

Также известно, что НЧ и ВЧ пьезослои 313 и 304 могут быть выполнены из многих слоёв, как пьезоэлектрических, так и непьезоэлектрических, чтобы изменять и увеличивать полосу пропускания электроакустической передаточной функции и уменьшать электрический импеданс электрических входов. Например, чтобы получить более низкий электрический импеданс элементов решётки, особенно для НЧ элементов, способных передавать высокие давления с управляемыми амплитудами напряжения возбуждения, можно изготовить НЧ пьезосекцию 313 в виде несколько пьезослоёв, покрытых электродами. На фиг. 6 показан иллюстративный вариант выполнения из двух слоёв 601 и 602. Слои покрыты электродами 603, 604 и 605, где обычно электроды 603 и 605 гальванически соединяют с землёй, а электрод 604 используют в качестве потенциального электрода. Два пьезослоя тогда имеют противоположные направления 606 и 607 поляризации, так что связь электродов обеспечивает электрическое параллельное соединение слоёв 601 и 602 для получения низкого электрического импеданса входа 608, что позволяет возбуждать низкочастотную решётку низкими напряжениями для высоких давлений. Параллельное соединение большего количества слоёв может быть выполнено даже для более низкого импеданса электрического входа, также для высокочастотных слоёв, в соответствии с известными способами. При использовании только одного или ограниченной группы элементов в блоке можно увеличить ширину полосы пропускания электроакустической передаточной функции.

Можно также осуществить электроакустическое преобразование на основе механической микрообработки преобразовательных ячеек на поверхности подложки, например Si (кремния), или подложки из других материалов, таких как медь (Cu) и алюминий (Al). При этих технологиях увеличенная вибрация

поверхности получается посредством мембран, колеблющихся на поверхности подложки, причем позади мембраны находится газ или вакуум, а мембрана присоединена к материалу акустической нагрузки либо непосредственно, либо через акустические слои. Электромеханическая связь может быть получена либо посредством емкостной связи мембраны с опорным электродом, в дальнейшем называемые *smuts* (емкостные ультразвуковые преобразователи с микромашиной обработкой), или посредством пьезоэлектрических плёнок на мембранах, в дальнейшем называемые *pmuts* (ультраузвуковые преобразователи на основе пьезослоя с микромашиной обработкой). Примеры таких мембран представлены номером позиции 701 и показаны с передней, излучающей стороны на фиг. 7, установленные на передней стороне подложки 700. Размеры и толщины мембран определяют резонансную полосу, где преобразование наиболее эффективно, при этом несколько ячеек емкостного/пьезоэлектрического типа (*smuts/pmuts*) обычно соединены вместе электрически с образованием одного элемента решётки. В настоящем изобретении нас интересует реализация емкостных/пьезоэлектрических (*smut/pmut*) технологий для передачи импульсов в двух частотных диапазонах по существу из одних и тех же излучающих поверхностей. При этом на чертежах показана суть изобретения, чтобы достигнуть двойной частотной функции, а детали мембран, электродов и электрических соединений остаются вне рассмотрения, так как много технических решений для этого представлены в литературе. Мы будем в дальнейшем ссылаться на эту технологию как на емкостные/пьезоэлектрические (*smut/pmut*) преобразователи, емкостные/пьезоэлектрические (*smut/pmut*) ячейки и емкостные/пьезоэлектрические (*smut/pmut*) мембраны.

Характеристический импеданс кремния (Si) равен 19,6 Мрейл, что даёт интересную возможность передачи ВЧ или НЧ волны через НЧ или ВЧ подложку. Например, на фиг. 8 показано поперечное сечение структуры с емкостной/пьезоэлектрической (*smut/pmut*) ВЧ секцией 806, выполненной перед НЧ секцией, представленной пьезослоем 801 с электродами 803 и 804, образующими электрический вход 805 НЧ элемента. Детали емкостных/пьезоэлектрических коллекторов с электродами и электрическим соединением не показаны, так как несколько примеров можно найти в литературе, как было указано выше. Вся структура в этом примере установлена на материале 802 (который может быть низкоимпедансным или воздухом), а перед емкостными/пьезоэлектрическими преобразовательными (*smut/pmut*) коллекторами 807 помещён защитный слой 808. На чертеже также показан поглощающий слой 812, выполненный для уменьшения поперечной акустической связи в кремниевой (Si) подложке между элементами ВЧ решётки, а также между подложкой и НЧ секцией в ВЧ полосе. Коллекторы 807 уменьшают эффективный акустический импеданс слоя 806 ниже импеданса слоя из кремния (Si), и при изготовлении пьезослоя 801 из композитного материала на основе керамики/полимера акустические импедансы слоя 801 и 806/808 могут быть согласованы для улучшения полосы пропускания НЧ входа. Другой пример на фиг. 9 показывает НЧ секцию 906 из пьезоэлектрических/емкостных (*pmut/smuts*) преобразователей перед ВЧ слоем 901, выполненным из композитного материала на основе керамики/полимера, установленного на материале 902 подложки. Электроды 903 и 904 элемента представляют собой электрический вход 905 ВЧ элемента. Низкочастотное преобразование обеспечивается емкостными/пьезоэлектрическими (*smut/pmut*) коллекторами 907 на слое 906 подложки. Детали емкостных/пьезоэлектрических коллекторов с электродами и электрическим соединением не показаны, так как несколько примеров можно найти в литературе, как было указано выше. При изготовлении пьезослоя 901 из композитного материала на основе керамики/полимера можно согласовать акустический импеданс этого слоя с акустическим импедансом кремниевый (Si) слоя 906 с коллекторами 907 для установления ВЧ акустического резонанса. Перед этой структурой помещены слои 908, согласующие акустические импедансы (обычно один или два), которые акустически соединяют ВЧ и НЧ секции с материалом 301 нагрузки для передачи (310) и приёма (311) импульсных волн в двух частотных диапазонах в материале нагрузки. Акустическая согласующая секция вместе с емкостным/пьезоэлектрическим (*smut/pmut*) слоем 906 использована для увеличения полосы пропускания ВЧ электроакустической передаточной функции, а при низкочастотной функции служит в качестве акустически тонкого защитного покрывающего слоя для НЧ решётки 906, где жёсткость емкостных/пьезоэлектрических (*smut/pmut*) мембран настроена для акустической передачи слой/нагрузка. Благодаря высокой скорости продольных волн в кремнии (Si) (8,44 мм/мкс), толщина подложки из кремния может быть сделана адекватно тонкой для допустимого влияния на ВЧ функцию передачи. Чтобы ограничить поперечную связь внутри кремниевой подложки, можно также использовать не обязательный поглощающий изолирующий слой 912 на задней стороне подложки, причём изоляцию выполняют адекватно тонкой на высоких частотах для ограничения влияния на ВЧ передаточную функцию.

Слоистая структура, изображенная на фиг. 9, имеет интересные преимущества для двумерных (2D) решёток для трёхмерного (3D) управления пучком и изображением, где имеется электрический доступ к большому числу (≈ 3000) ВЧ элементов с задней стороны структуры решётки для наиболее простого присоединения к кабелю или суб-апертуре электроники, формирующей пучок. Низкочастотная двумерная (2D) решётка имеет намного меньше элементов (1/50-1/100 от числа ВЧ элементов), упрощая соединение с НЧ элементами, причем при емкостной/пьезоэлектрической (*smut/pmut*) технологии изготовления также возможна упрощённая техника соединения.

Изобретение также представляет решение для НЧ/ВЧ преобразования с общей излучающей поверхностью, где высокочастотные емкостные/пьезоэлектрические (*smut/pmut*) преобразовательные ячейки

установлены сверху низкочастотных ячеек, например, как показано на фиг. 10. На фиг. 10а показана передняя сторона 1000 подложки с одной низкочастотной ячейкой 1001 и несколько высокочастотных ячеек 1002 сверху низкочастотной ячейки. Так как при низкой частоте допускаются большие размеры низкочастотной ячейки, эту ячейку можно подвергнуть микромашиной обработке с задней стороны подложки, как показано на фиг. 10b, где изображено поперечное сечение подложки 1003, причем травление с задней стороны подложки обеспечивает тонкую низкочастотную мембрану 1004 в емкостном взаимодействии с электродом 1005, который выполнен на всей второй подложке 1006 или ее части, которая прикреплена к подложке 1003 посредством приклеивания или другой технологии прикрепления. На передней стороне низкочастотной мембраны 1004 находится несколько подвергнутых микромашиной обработке высокочастотных ячеек 1002 с передней стороны подложки. При более сложной технологии изготовления как низкочастотные, так и высокочастотные ячейки могут быть изготовлены с передней стороны. Что касается технических решений других емкостных/пьезоэлектрических (cmut/pmut) преобразователей, подробное расположение электродов и возможное размещение пьезокерамических элементов не показано, так как несколько примеров этого даны в литературе, а в этом описании подчеркнуты существенные характеристики конструкции, способной передавать как НЧ, так и ВЧ импульсы с одной и той же излучающей поверхности. Однако, когда в качестве подложки используется кремний, на чертеже показано решение НЧ электрода, в котором передний слой 1007 кремниевой подложки сильно легирован акцепторной примесью (n^{++}), чтобы обеспечить общий заземлённый электрод для НЧ и ВЧ ячеек. Потенциальный НЧ электрод может подобным образом быть получен сильным легированием акцепторной примесью области 1005 второй кремниевой подложки 1006.

Работа в двухчастотном диапазоне с широко разнесёнными частотными полосами может также быть удобно осуществлена, используя разреженные решётки, в которых низкочастотные и высокочастотные элементы помещают в различных местах на поверхности решётки, но достаточно близко, так что снаружи на определённом расстоянии от решётки два частотных пучка выходят, по меньшей мере, частично из одной излучающей поверхности. Двумерные (2D) разреженные решётки особенно полезны для трёхмерного (3D) ультразвукового изображения, где разреженные решётки позволяют управление двумерным направлением ультразвукового пучка с уменьшенным числом элементов (≈ 1000). Двумерные (2D) разреженные решётки также полезны для коррекции aberrаций волнового фронта и реверберации импульса как при двумерном (2D) сканировании, так и при трёхмерном (3D) сканировании пучком. Иллюстрация этого показана на фиг. 11, где показана часть поверхности 1100 решётки с четырьмя НЧ элементами 1101 решётки с открытым промежутком 1102 между ними для размещения ВЧ элементов решётки в схеме разреженной решётки. Разреженные решётки создают дифракционные максимумы в направлениях, смещённых от основного максимума пучка, где излучающая и приёмная апертуры должны выполнены для неперекрывающихся направлений дифракционных максимумов решётки. Для методов получения изображений, которые основаны на нелинейном взаимодействии между пучками с двумя частотами, например, как описано в патентных заявках США №№ 10/189350 и 10/204350, получают улучшенное подавление дифракционных максимумов в изображении, когда дифракционные максимумы для НЧ и ВЧ пучков не перекрываются. В сущности, из-за большой длины волны низкочастотного диапазона ($\lambda \approx 3$ мм при 500 кГц) можно сконструировать решётку с небольшими низкочастотными элементами решётки, которые не имеют низкочастотных дифракционных максимумов, но всё же, с большим расстоянием между элементами (≈ 2 мм), что позволяет разместить много высокочастотных элементов между низкочастотными элементами.

С резонансными пьезокерамическими элементами для электроакустического преобразования, подобными элементам, изображенным на фиг. 3, с помощью разреженных решёток можно, например, изготовить высокочастотную решётку с разделением всех её элементов, а затем выбрать подгруппу из этих мест расположения для НЧ элементов, которые выполняются путём присоединения пьезоэлектрической пластины на задней стороне выбранных ВЧ элементов и осуществления электрического соединения между передним электродом высокочастотного элемента, который обычно является заземлённым электродом, и задним электродом указанной присоединённой пьезоэлектрической пластины. При меньшей эффективности электроакустического преобразования, можно понизить резонансную частоту НЧ элементов путём прикрепления массы из тяжёлого и жёсткого материала, например металлов, подобных Cu, Ag, Au, Pd, Pt или W на задней стороне выбранных ВЧ элементов и использовать поверхностные электроды высокочастотного пьезокерамического элемента для преобразования.

Подвергнутые микромашиной обработке преобразовательные элементы на передней стороне кремниевой подложки также хорошо подходят для осуществления разреженной решётки с двумя частотными диапазонами, так как большие низкочастотные ячейки и высокочастотные ячейки меньшего размера механически обрабатываются в разных местах на поверхности решётки, как, например, показано на фиг. 12, где номером позиции 1201 показаны емкостные/пьезоэлектрические (cmut/pmut) механически обработанные ультразвуковые преобразовательные ячейки для низкочастотного диапазона, на подложке 1200, окружённые емкостными/пьезоэлектрическими (cmut/pmut) механически обработанными преобразовательными ячейками 1202 для высокочастотного диапазона. Ячейки высокочастотного диапазона

электрически соединены для образования высокочастотных элементов, в то время как ячейки низкочастотного диапазона соединены для образования низкочастотных элементов больших размеров, например, как показано для фазированной решётки на фиг. 5. Обычно для каждого элемента решётки электрически соединяют несколько ячеек.

Таким образом, хотя показаны, описаны и объяснены фундаментальные новые признаки изобретения в предпочтительных вариантах изобретения, понятно, что форма и детали представленных устройств и их работа специалистами могут быть различным образом заменены, исключены и изменены, без отклонения от сущности изобретения.

Также особо предполагается, что все комбинации таких элементов и/или этапы способа, которые выполняют по существу ту же функцию подобным же образом для достижения тех же результатов, находятся в рамках изобретения. Кроме того, следует признать, что конструкции и/или элементы и/или этапы способа, показанные и/или описанные в связи с любой представленной формой или вариантом выполнения изобретения, могут быть включены в любую другую представленную или описанную или предложенную форму или вариант выполнения в качестве основного объекта конструктивного выбора. Поэтому ограничением может служить только формула изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Элемент решётки ультразвуковых преобразователей, предназначенный для передачи из передней поверхности указанного элемента ультразвуковых импульсов разделенных низкочастотной (НЧ) и высокочастотной (ВЧ) полос и приема импульсов, по меньшей мере, ВЧ полосы, содержащий

излучающие поверхности для НЧ и ВЧ полос, причем по меньшей мере часть указанных излучающих поверхностей для НЧ и ВЧ полос является общей в общей излучающей поверхности,

по меньшей мере, в области общей излучающей поверхности структуру из слоёв, составленную в направлении толщины, по существу, перпендикулярно общей излучающей поверхности, причем указанная структура содержит

отдельные НЧ и ВЧ пьезоэлектрические слои, выполненные для соответствующих НЧ и ВЧ электроакустических преобразований, при этом указанный ВЧ пьезоэлектрический слой расположен ближе к общей излучающей поверхности, чем указанный НЧ пьезоэлектрический слой, причем

между указанными ВЧ и НЧ пьезоэлектрическими слоями помещена акустическая изолирующая секция, состоящая по меньшей мере из двух акустических слоёв, составленных в направлении толщины.

2. Элемент по п.1, отличающийся тем, что указанная изолирующая секция содержит обратный слой с характеристическим акустическим импедансом больше 17 Мрейл и по меньшей мере из одного слоя с характеристическим импедансом меньше 5 Мрейл.

3. Элемент по п.2, отличающийся тем, что указанный обратный слой выполнен из одного из материалов Cu, Ag, Au, Pd, Pt, W, или сплавов из этих материалов, порошков из одного из материалов Cu, Ag, Au, Pd, Pt, W или их сплавов, спечённых или склеенных вместе.

4. Элемент по п.1, отличающийся тем, что указанная изолирующая секция содержит керамический слой.

5. Элемент по п.4, отличающийся тем, что указанный НЧ пьезоэлектрический слой выполнен из материала, содержащего композитный материал на основе керамики/полимера, причем керамика/полимер не полностью разрезана с задней стороны через указанный НЧ пьезоэлектрический слой, так что передняя часть указанного НЧ керамического пьезоэлектрического слоя образует проходящий в боковом направлении керамический слой, который образует указанный обратный слой указанной изолирующей секции.

6. Элемент по п.5, отличающийся тем, что второй слой с обратной стороны указанной изолирующей секции выполнен из одного из материалов Cu, Ag, Au, Pd, Pt, W, сплавов из этих материалов, порошков из одного из материалов Cu, Ag, Au, Pd, Pt, W или их сплавов, спечённых или склеенных вместе.

7. Элемент по п.1, отличающийся тем, что указанная структура содержит большое количество преобразовательных элементов, а указанные излучающие поверхности содержат НЧ передающую поверхность, ВЧ передающую поверхность и по меньшей мере одну из НЧ приёмной поверхности и ВЧ приёмной поверхности, при этом по меньшей мере одна из указанных излучающих поверхностей выполнена в виде разреженной решётки элементов, причем потенциальные дифракционные максимумы ВЧ и НЧ передающих апертур элемента не перекрываются в пространстве.

8. Элемент по п.1, дополнительно содержащий материал подложки, на котором установлена указанная структура, и акустическую согласующую секцию для ВЧ полосы, помещённую перед указанным ВЧ пьезоэлектрическим слоем.

9. Элемент по п.1, в котором каждый из указанных акустических слоёв проходит непрерывным и соприкасающимся образом по меньшей мере с одним из указанных НЧ и ВЧ пьезоэлектрических слоёв.

10. Элемент решётки ультразвуковых преобразователей, предназначенный для передачи из передней поверхности указанного элемента ультразвуковых импульсов разделенных низкочастотной (НЧ) и

высокочастотной (ВЧ) полос и приема импульсов, по меньшей мере, ВЧ полосы, содержащий излучающие поверхности для НЧ и ВЧ полос, причем по меньшей мере часть указанных излучающих поверхностей для НЧ и ВЧ полос является общей в общей излучающей поверхности,

решетки преобразовательных элементов, предназначенных для соответствующего НЧ и ВЧ электроакустического преобразования, причем решетка для НЧ электроакустического преобразования содержит по меньшей мере один элемент НЧ решетки, а решетка для ВЧ электроакустического преобразования содержит по меньшей мере один элемент ВЧ решетки,

отличающийся тем, что каждый элемент из указанного по меньшей мере одного элемента НЧ решетки в пределах указанной общей излучающей поверхности имеет излучающую поверхность большего размера, чем каждый элемент из указанного по меньшей мере одного элемента ВЧ решетки в пределах указанной общей излучающей поверхности.

11. Элемент по п.10, в котором, по меньшей мере, в области общей излучающей поверхности решетки преобразовательных элементов представляют собой структуру из слоёв, составленную в направлении толщины, по существу, перпендикулярно части общей излучающей поверхности, причем указанная структура содержит

ВЧ решетку по меньшей мере с одним элементом ВЧ решетки и НЧ решетку по меньшей мере с одним элементом НЧ решетки, соответственно в области излучающих поверхностей для НЧ полосы и ВЧ полосы,

один пьезоэлектрический слой, выполненный для одного из НЧ или ВЧ электроакустического преобразования, и

слой подложки с емкостными/пьезоэлектрическими (сmut/pmut) преобразовательными мембранами на передней стороне, выполненный для другого из указанных ВЧ или НЧ электроакустических преобразований,

при этом указанный слой, основанный на смут/pmut преобразовательных мембранах, расположен перед указанным пьезоэлектрическим слоем.

12. Элемент по п.11, отличающийся тем, что указанное НЧ электроакустическое преобразование достигается посредством указанного пьезоэлектрического слоя.

13. Элемент по п.11, отличающийся тем, что указанное ВЧ электроакустическое преобразование достигается посредством указанного пьезоэлектрического слоя.

14. Элемент по п.11, отличающийся тем, что указанная структура содержит большое количество преобразовательных элементов, а указанные излучающие поверхности содержат НЧ передающую поверхность, ВЧ передающую поверхность и по меньшей мере одну из НЧ приёмной поверхности и ВЧ приёмной поверхности, при этом по меньшей мере одна из указанных излучающих поверхностей выполнена в виде разреженной решётки элементов НЧ решетки и элементов ВЧ решетки, причем потенциальные дифракционные максимумы ВЧ и НЧ передающих апертур элемента не перекрываются в пространстве.

15. Элемент по п.10, содержащий

подложку, причем, по меньшей мере, в области общей излучающей поверхности отдельные емкостные/пьезоэлектрические (сmut/pmut) НЧ и ВЧ преобразовательные мембраны, содержащие по меньшей мере одну НЧ преобразовательную мембрану и по меньшей мере одну ВЧ преобразовательную мембрану, расположены на указанной подложке и выполнены для соответствующих НЧ и ВЧ электроакустических преобразований, при этом

указанные преобразовательные мембраны формируют ВЧ решетку по меньшей мере с одним элементом ВЧ решетки и НЧ решетку по меньшей мере с одним элементом НЧ решетки в области общей излучающей поверхности.

16. Элемент по п.15, отличающийся тем, что в пределах общей излучающей поверхности указанная по меньшей мере одна ВЧ преобразовательная мембрана расположена спереди указанной по меньшей мере одной НЧ преобразовательной мембраны.

17. Элемент по п.15, отличающийся тем, что в пределах общей излучающей поверхности указанная по меньшей мере одна ВЧ преобразовательная мембрана расположена бок о бок с указанной по меньшей мере одной НЧ преобразовательной мембраной на расстоянии друг от друга так, что НЧ и ВЧ пучки кажутся выходящими из перекрывающихся элементов.

18. Элемент по п.15, отличающийся тем, что указанные излучающие поверхности содержат НЧ передающую поверхность, ВЧ передающую поверхность и по меньшей мере одну из НЧ приёмной поверхности и ВЧ приёмной поверхности, при этом по меньшей мере одна из указанных излучающих поверхностей выполнена в виде разреженной решётки элементов НЧ решетки и элементов ВЧ решетки, причем потенциальные дифракционные максимумы ВЧ и НЧ передающих апертур элемента не перекрываются в пространстве.

19. Элемент по п.10, в котором излучающие поверхности содержат, по меньшей мере, НЧ передающую поверхность для передачи НЧ полосы и ВЧ передающую поверхность для передачи ВЧ полосы, при этом внешние границы указанной НЧ передающей поверхности находятся, по меньшей мере, в области снаружи внешних границ указанной ВЧ передающей поверхности, и

при этом решетки преобразовательных элементов, предназначенных для соответствующего НЧ и ВЧ электроакустического преобразования, являются различными решетками.

20. Элемент по п.10, в котором излучающие поверхности содержат, по меньшей мере, НЧ передающую поверхность для передачи НЧ полосы и ВЧ передающую поверхность для передачи ВЧ полосы, при этом в области вокруг центра указанной ВЧ передающей поверхности указанная НЧ передающая поверхность не является общей с указанной ВЧ передающей поверхностью,

при этом решетки преобразовательных элементов, предназначенных для соответствующего НЧ и ВЧ электроакустического преобразования, являются различными решетками.

21. Элемент по любому из пп.19 и 20, в котором каждая из указанной решетки для НЧ электроакустического преобразования и указанной решетки для ВЧ электроакустического преобразования выполнена в виде одной из следующих решеток:

- решетки из одного элемента,
- кольцевой решетки из преобразовательных элементов,
- линейной решетки из преобразовательных элементов и
- двумерной решетки из преобразовательных элементов.

22. Элемент по любому из пп.19 и 20, в котором излучающие поверхности также включают ВЧ приемную поверхность для приема в ВЧ полосе, а элементы преобразователя с возможностью выбора активируются так, что размер ВЧ приемной поверхности больше, чем размер НЧ передающей поверхности.

23. Элемент по п.10, в котором излучающие поверхности содержат, по меньшей мере, НЧ передающую поверхность для передачи НЧ полосы и ВЧ передающую поверхность для передачи ВЧ полосы, при этом

по меньшей мере, указанные элементы НЧ решетки выполнены с возможностью выборочной активации так, что размер НЧ передающей поверхности может выборочно меняться следующим образом:

- а) быть равным ВЧ передающей поверхности,
- б) находиться, по меньшей мере, в области вне ВЧ передающей поверхности,
- в) находиться в центральной области ВЧ передающей поверхности, где отсутствует активная НЧ передающая поверхность, и
- г) соответствовать комбинации а) и в),

при этом элементы НЧ решетки в пределах указанной общей излучающей поверхности имеют большее расстояние между центрами соседних элементов, чем элементы ВЧ решетки в пределах указанной общей излучающей поверхности.

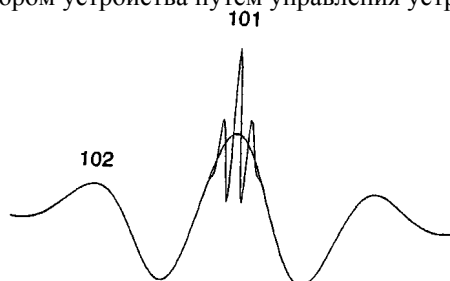
24. Ультразвуковое устройство, использующее ультразвуковой элемент по любому из пп.1, 11, 15, 19 и 20, в котором толщина структуры решетки одинаковая по всей общей излучающей поверхности, а размеры НЧ и ВЧ передающей и приемной апертур ограничены электрическим соединением с элементами решетки в указанной структуре.

25. Ультразвуковое устройство по п.24, в котором активная НЧ излучающая апертура выбирается одним из следующих способов:

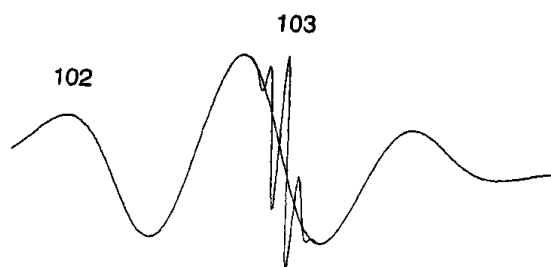
- а) автоматическим выбором посредством самого устройства в зависимости от дальности изображения и способа получения ультразвукового изображения и от применения;
- б) ручным выбором оператором устройства путем управления устройством.

26. Ультразвуковое устройство, использующее ультразвуковой элемент по п.23, в котором активная НЧ излучающая апертура выбирается одним из следующих способов:

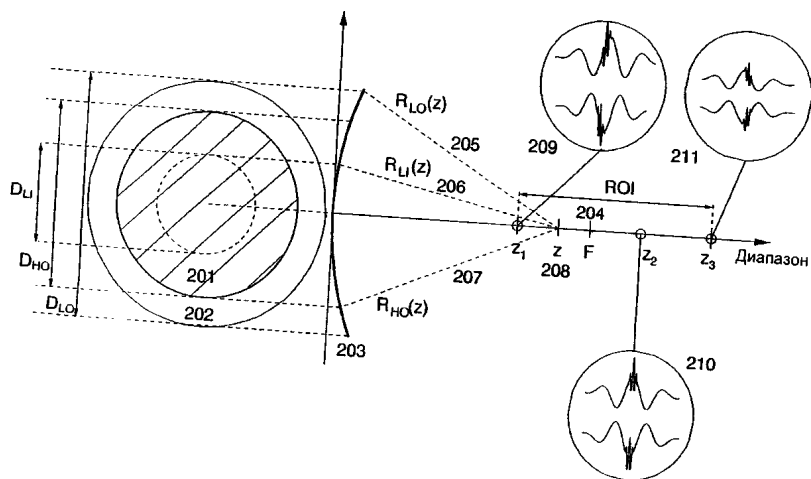
- а) автоматическим выбором посредством самого устройства в зависимости от дальности изображения и способа получения ультразвукового изображения и от применения;
- б) ручным выбором оператором устройства путем управления устройством.



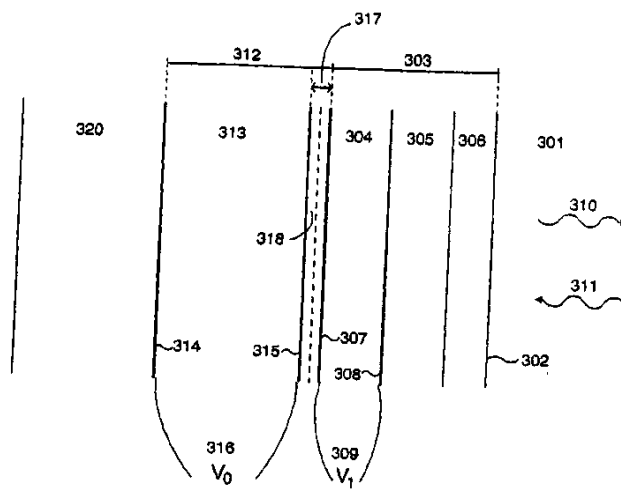
Фиг. 1а



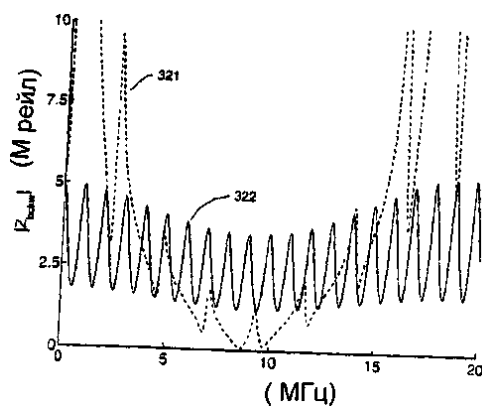
Фиг. 1b



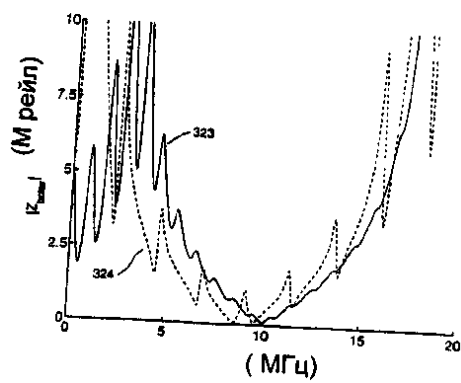
Фиг. 2



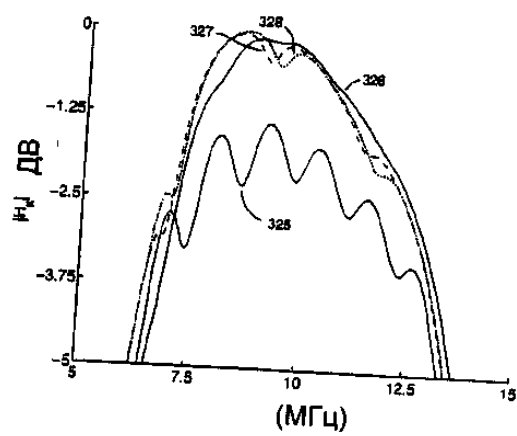
Фиг. 3a



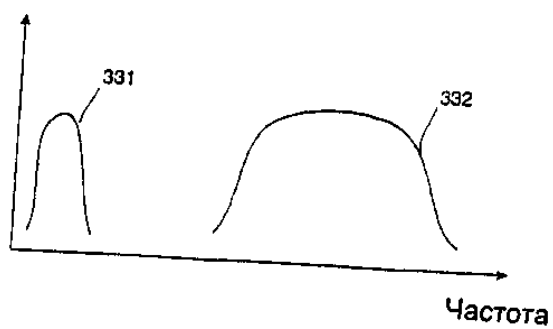
Фиг. 3b



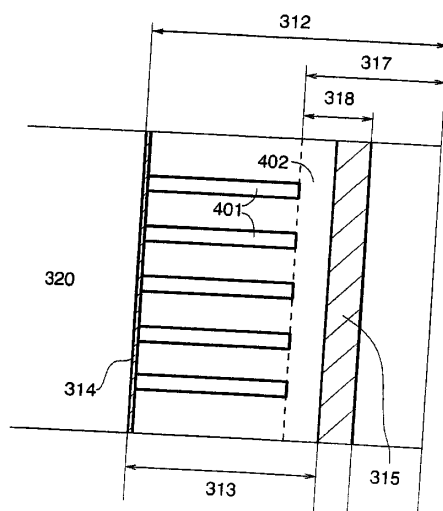
Фиг. 3с



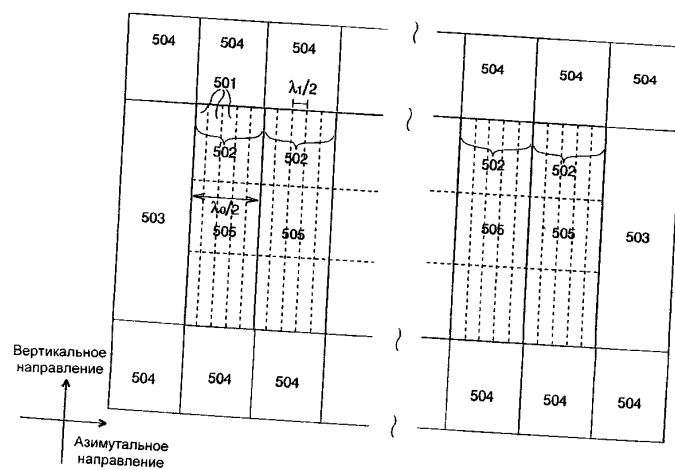
Фиг. 3d



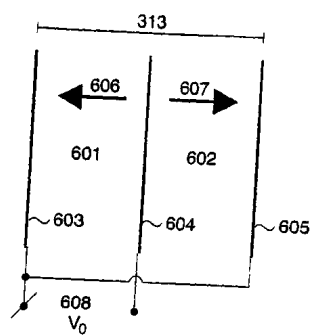
Фиг. 3е



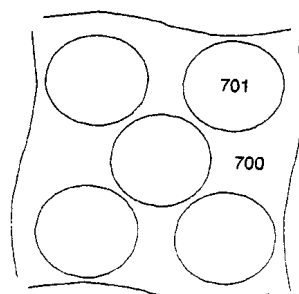
Фиг. 4



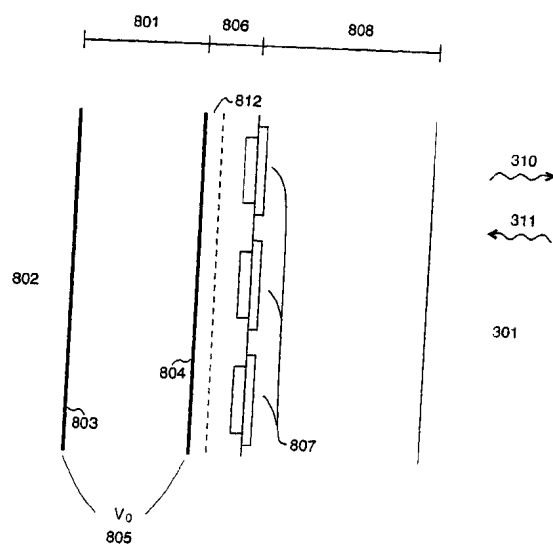
Фиг. 5



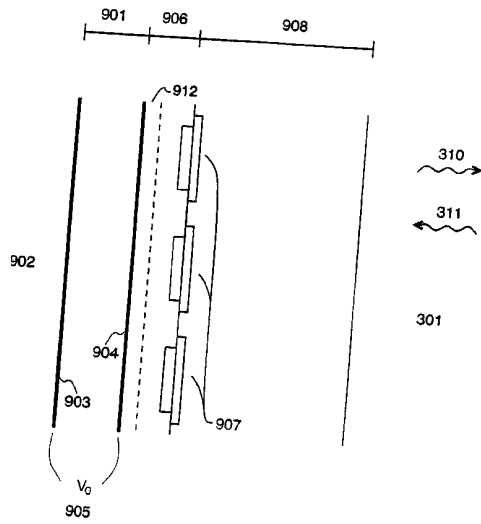
Фиг. 6



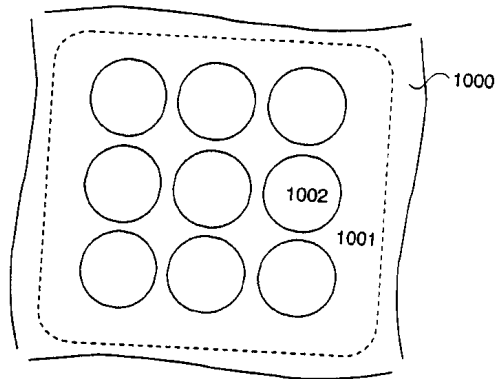
Фиг. 7



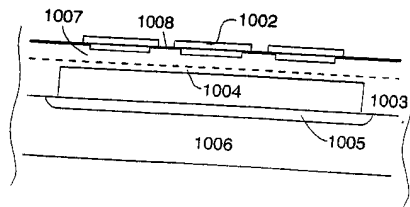
Фиг. 8



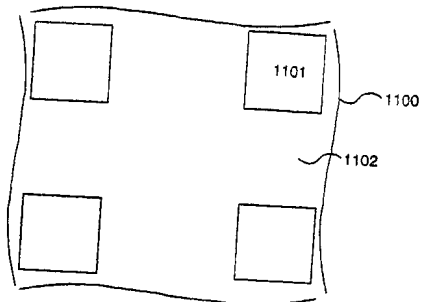
Фиг. 9



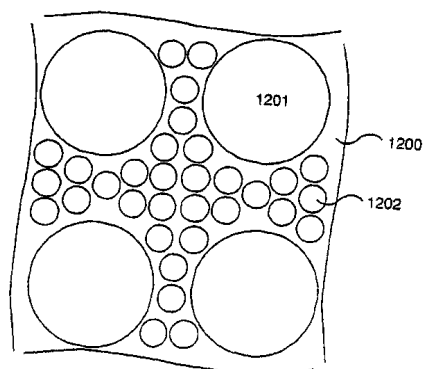
Фиг. 10a



Фиг. 10b



Фиг. 11



Фиг. 12

