



등록특허 10-2725035



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월31일

(11) 등록번호 10-2725035

(24) 등록일자 2024년10월29일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B06B 1/06 (2023.01) *G10K 11/02* (2006.01)
G10K 11/30 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
B06B 1/067 (2013.01)
B06B 1/0685 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2023-7016191(분할)
(22) 출원일자(국제) 2019년03월29일
심사청구일자 2023년06월12일
- (85) 번역문제출일자 2023년05월12일
(65) 공개번호 10-2023-0074600
(43) 공개일자 2023년05월30일
(62) 원출원 특허 10-2020-7031299
원출원일자(국제) 2019년03월29일
심사청구일자 2020년11월30일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2019/024837
(87) 국제공개번호 WO 2019/191587
국제공개일자 2019년10월03일
- (30) 우선권주장
62/650,919 2018년03월30일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US20070055183 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
랩사이트 아이엔씨.
미국 95134 캘리포니아주 새너제이 로즈 오처드
웨이 170
- (72) 발명자
하디미오글루 바부르
미국 95134 캘리포니아주 새너제이 로즈 오처드
웨이 170 랩사이트 아이엔씨 내
- 돌튼 제이**
미국 95134 캘리포니아주 새너제이 로즈 오처드
웨이 170 랩사이트 아이엔씨 내
- 엘슨 리처드 엔**
미국 95134 캘리포니아주 새너제이 로즈 오처드
웨이 170 랩사이트 아이엔씨 내
- (74) 대리인
양영준, 김윤기

전체 청구항 수 : 총 61 항

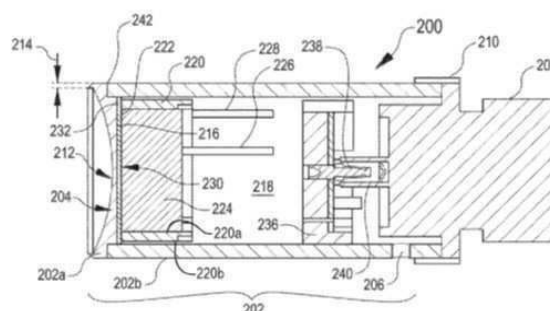
심사관 : 김선희

(54) 발명의 명칭 **유체 불투과성 초음파 변환기**

(57) 요약

유체 불투과성 변환기는, 변환기 헤드와 케이싱의 어셈블리, 및 변환기 헤드의 후면의 후방 케이싱 내에 배치되고 변환기 헤드를 통해 음향 에너지를 송신하도록 작동 가능한 액추에이터를 포함한다. 변환기 헤드와 케이싱은, 유체 불투과성인 변환기의 작동 부분을 정의한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G10K 11/02 (2013.01)

G10K 11/30 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

유체 불투과성 변환기이며,
 유체 불투과성 금속 케이싱과,
 금속 집속 렌즈를 포함하는 유체 불투과성 변환기 헤드와,
 액추에이터를 포함하고,
 상기 유체 불투과성 변환기 헤드 및 상기 유체 불투과성 금속 케이싱은 티타늄을 포함하고,
 상기 유체 불투과성 변환기 헤드는 후면 및 전면을 갖고,
 상기 금속 집속 렌즈는, 상기 전면 상에 위치하고, 초음파를 초점으로 집속시키도록 구성되고,
 상기 액추에이터는 상기 유체 불투과성 변환기 헤드의 후면에 접합되고 상기 금속 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능하여, 초음파가 상기 금속 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 하고,
 상기 유체 불투과성 금속 케이싱 및 상기 유체 불투과성 변환기 헤드는, 상기 유체 불투과성 금속 케이싱 내부로 액체 유입을 방지하기 위해 단일 부품으로서 일체식으로 형성되고 액체 불투과성 방식으로 영구적으로 연결되고,
 상기 유체 불투과성 변환기 헤드의 전면은,
 상기 금속 집속 렌즈를 둘러싸는 주변부와,
 상기 주변부와 인터페이싱되고, 상기 액추에이터로부터 상기 주변부를 통해 방출된 초음파 에너지를 흡수하도록 구성되는 감쇠 층을 포함하는,
 유체 불투과성 변환기.

청구항 2

제1항에 있어서,
 상기 유체 불투과성 금속 케이싱 및 상기 유체 불투과성 변환기 헤드는, 상기 유체 불투과성 금속 케이싱 내부로 가스 유입을 방지하기 위해 유체 불투과성 방식으로 연결되는,
 유체 불투과성 변환기.

청구항 3

제1항에 있어서,
 상기 금속 집속 렌즈는 구형 오목면을 포함하는,
 유체 불투과성 변환기.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 금속 집속 렌즈는 원통형 오목면을 포함하는,
 유체 불투과성 변환기.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 액추에이터는 압전 변환기인,
유체 불투과성 변환기.

청구항 6

제1항에 있어서,
상기 금속 집속 렌즈에서 매질로 초음파를 전달하기 위해 상기 금속 집속 렌즈에 결합된 매칭 층을 추가로 포함하고,
상기 매칭 층은, 상기 금속 집속 렌즈에서 상기 매질로 초음파를 직접 전달하는 것과 비교하여 상기 금속 집속 렌즈에서 상기 매질로 초음파의 전달을 향상시키도록 구성되는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 7

제6항에 있어서,
상기 금속 집속 렌즈는 제1 음향 임피던스를 갖고,
상기 매질은 상기 제1 음향 임피던스와 상이한 제2 음향 임피던스를 갖고,
상기 매칭 층은 상기 제1 음향 임피던스와 제2 음향 임피던스 사이에 매칭 음향 임피던스를 갖는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 8

제7항에 있어서,
상기 매칭 음향 임피던스는 식 $Z_m = \sqrt{Z_l Z_c}$ 에 따른 Z_m 과 동일하고,
 Z_l 는 상기 제1 음향 임피던스이고 Z_c 는 상기 제2 음향 임피던스인,
유체 불투과성 변환기.

청구항 9

제8항에 있어서,
상기 매칭 음향 임피던스는 Z_m 의 10% 이내인,
유체 불투과성 변환기.

청구항 10

제8항에 있어서,
상기 매칭 음향 임피던스는 Z_m 의 5% 이내인,
유체 불투과성 변환기.

청구항 11

제7항에 있어서,
상기 매칭 음향 임피던스는 4~10 Mrayl의 범위 내에 있는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 12

제7항에 있어서,

상기 매칭 음향 임피던스는 6~8 Mrayl의 범위 내에 있는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 13

제7항에 있어서,
상기 매칭 층은 그래파이트를 포함하는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 14

제7항에 있어서,
상기 매칭 층은 플루오로폴리머 층을 포함하는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 15

제7항에 있어서,
상기 매칭 층은 폴리비닐리덴 디플루오라이드를 포함하는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 16

제6항에 있어서,
상기 매칭 층은 상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배에 대응하는 두께를 갖는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 17

제16항에 있어서,
상기 매칭 층의 두께는 상기 1/4 파장의 홀수 배로 정의된 공칭 두께의 20% 내에 있는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 18

제16항에 있어서,
상기 매칭 층의 두께는 상기 1/4 파장의 홀수 배로 정의된 공칭 두께의 10% 내에 있는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 19

제16항에 있어서,
상기 공칭 주파수는 2 내지 15 MHz의 범위 내인,
유체 불투과성 변환기.

청구항 20

제6항에 있어서,
상기 매칭 층은 30 내지 80 μm 범위의 두께를 갖는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 21

제1항에 있어서,

상기 전면 상에 배치된 제1 매칭 층과 상기 제1 매칭 층 상에 배치된 제2 매칭 층을 추가로 포함하고,

상기 제1 및 제2 매칭 층은 상기 금속 집속 렌즈에서 매질로 초음파를 직접 전달하는 것과 비교하여 상기 금속 집속 렌즈에서 상기 매질로 초음파의 전달을 향상시키도록 구성되는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 22

제21항에 있어서,

상기 금속 집속 렌즈는 제1 음향 임피던스를 갖고,

상기 매질은 상기 제1 음향 임피던스와 상이한 제2 음향 임피던스를 갖고,

상기 제1 매칭 층은 상기 제1 음향 임피던스와 제2 음향 임피던스 사이의 제1 매칭 음향 임피던스를 갖고,

상기 제2 매칭 층은 상기 제1 매칭 음향 임피던스와 상기 제2 음향 임피던스 사이의 제2 매칭 음향 임피던스를 갖는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 23

제22항에 있어서,

상기 제1 및 제2 매칭 음향 임피던스는 각각 Z_{m1} 및 Z_{m2} 와 동일하고,

$$Z_{m1} = \sqrt{Z_1 Z_{m2}} \quad \text{및} \quad Z_{m2} = \sqrt{Z_{m1} Z_c} \quad \text{이고,}$$

Z_1 는 상기 금속 집속 렌즈의 음향 임피던스에 대응하고, Z_c 는 상기 매질의 음향 임피던스에 대응하는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 24

제1항에 있어서,

상기 금속 집속 렌즈는 상기 액추에이터보다 직경이 더 큰,

유체 불투과성 변환기.

청구항 25

제1항에 있어서,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드는 금속 또는 금속 합금으로 형성되는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 26

제1항에 있어서,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드는 알루미늄(Al), 베릴륨(Be), 카드뮴(Cd), 탄소(C), 크롬(Cr), 구리(Cu), 게르마늄(Ge), 금(Au), 철(Fe), 납(Pb), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 니켈(Ni), 니오븀(Nb), 인(P), 백금(Pt), 셀레늄(Se), 실리콘(Si), 은(Ag), 주석(Sn), 티타늄(Ti), 텅스텐(W), 바나듐(V), 아연(Zn) 및 지르코늄(Zr) 중 하나 이상을 포함하는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 27

제1항에 있어서,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드 및 상기 유체 불투과성 금속 케이싱은 액체에 침지되는 경우에 액체 침투 깊이와 유도된 재료 손실이 영(zero)인 것을 특징으로 하는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 28

제1항에 있어서,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드 및 상기 유체 불투과성 금속 케이싱은 액체와 접촉하는 년 수마다 0.1% 미만의 재료 중량 손실을 특징으로 하는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 29

제1항에 있어서,

상기 액추에이터는 상기 변환기에 의해 발생된 공칭 주파수에서 음향 신호의 공칭 음향 파장의 절반과 동일한 두께를 갖는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 30

제1항에 있어서,

상기 액추에이터는 275 μm 와 동일한 두께를 갖는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 31

제1항에 있어서,

상기 액추에이터에 의해 전달된 음향 에너지를 감소시키도록 구성된 후면 재료를 추가로 포함하고,

상기 액추에이터는 상기 후면 재료와 상기 금속 집속 렌즈 사이에 위치하는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 32

제31항에 있어서,

상기 후면 재료는 음향 감쇠 재료에 균일하게 현탁된 음향 산란 재료의 입자를 포함하는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 33

제31항에 있어서,

상기 후면 재료는 감쇠 폴리머 매트릭스를 포함하는,

유체 불투과성 변환기.

청구항 34

제31항에 있어서,

상기 후면 재료는 실리콘 카바이드 입자로 함침된 감쇠 폴리머 매트릭스를 포함하는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 35

제31항에 있어서,
상기 후면 재료는 텅스텐 입자로 함침된 감쇠 폴리머 매트릭스를 포함하는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 36

제31항에 있어서,
상기 후면 재료는 13.5 내지 16.5 Mrayl 범위의 음향 임피던스를 갖는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 37

제31항에 있어서,
상기 유체 불투과성 금속 케이싱의 내부 공간을 충전하는 밀봉재를 추가로 포함하고,
상기 후면 재료는 상기 액추에이터와 상기 밀봉재 사이에 배치되는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 38

제1항에 있어서,
상기 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 초점 길이는 액체와 접촉하는 년 수마다 0.1% 미만의 속도로 상기 초점 길이가 변하는 정도로 충분히 안정적인,
유체 불투과성 변환기.

청구항 39

제1항에 있어서,
상기 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 편심성은 액체와 접촉하는 년 수마다 0.1% 미만의 속도로 상기 편심성이 변하는 정도로 충분히 안정적인,
유체 불투과성 변환기.

청구항 40

제1항에 있어서,
상기 변환기는 2 기압 초과에서 130° C를 초과하는 온도에 노출되는 경우에 유체 불투과성이고 성능 변화에 대해 회복 탄력성을 갖는,
유체 불투과성 변환기.

청구항 41

유체 불투과성 초음파 변환기를 형성하는 방법이며,
내부 공동과 제1 개방 말단을 갖는 중공형 케이싱을 유체 불투과성 재료로부터 형성하는 단계와,
상기 케이싱의 제1 개방 말단과 연결하기 위해 크기가 조절되는 변환기 헤드 요소를 상기 유체 불투과성 재료로부터 형성하는 단계와,

상기 헤드 요소의 전면 상에 초점을 향해 초음파를 집속시키도록 구성된 집속 렌즈를 형성하는 단계와,
 유체 불투과성 결합부를 형성하기 위해 상기 집속 렌즈가 상기 케이싱에서 멀어지도록 위치하는 상기 헤드 요소를 상기 케이싱의 제1 개방 말단과 결합시키는 단계와,
 초음파가 상기 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 상기 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능한 액추에이터를 상기 전면에 대향하는 상기 변환기 헤드의 후면에 접합하는 단계와,
 상기 집속 렌즈를 둘러싸는 주변부를 형성하는 단계와,
 상기 주변부와 인터페이싱되고, 상기 액추에이터로부터 상기 주변부를 통해 방출된 초음파 에너지를 흡수하도록 구성되는 감쇠 층을 형성하는 단계를 포함하는,
 방법.

청구항 42

제41항에 있어서,
 상기 헤드 요소를 상기 케이싱의 제1 개방 말단과 결합시키는 단계는, 상기 헤드 요소를 상기 케이싱과 용접하는 단계를 포함하는,
 방법.

청구항 43

제41항에 있어서,
 상기 집속 렌즈를 형성하는 단계는, 정밀 기계 가공 공정을 통해 상기 헤드 요소의 전면으로부터 재료를 제거하는 단계를 포함하는,
 방법.

청구항 44

제41항에 있어서,
 상기 케이싱 내의 상기 액추에이터에 인접하여 그 뒤에 후면 재료를 삽입하는 단계와,
 밀봉재로 상기 케이싱의 내부 공동의 나머지를 충전하는 단계를 추가로 포함하는,
 방법.

청구항 45

제41항에 있어서,
 매칭 층을 상기 집속 렌즈에 적용하는 단계를 추가로 포함하고,
 상기 매칭 층은 식 $Z_m = \sqrt{Z_l Z_c}$ 에 따른 Z_m 에 대응하는 매칭 음향 임피던스를 갖는 재료를 포함하고,
 Z_l 는 상기 헤드 요소에 대응하는 제1 음향 임피던스이고, Z_c 는 매질에 대응하는 제2 음향 임피던스인,
 방법.

청구항 46

제45항에 있어서,
 상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배의 두께로 맞추기 위해 상기 매칭 층의 두께를 감소시키는 단계를 추가로 포함하는,
 방법.

청구항 47

제45항에 있어서,

상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배에 해당하는 두께로 상기 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 48

제41항에 있어서,

상기 케이싱 내의 액추에이터에 인접하여 그 뒤에 후면 재료를 삽입하는 단계와,

내부 전도성 부분 및 외부 전도성 부분을 갖는 전도성 링 요소를 상기 후면 재료의 주변부 주위에 그리고 상기 액추에이터와 접한 케이싱 내로 삽입하는 단계와,

상기 액추에이터의 제1 전극을 상기 전도성 링 요소의 내부 전도성 부분과 접촉시키는 단계와,

상기 액추에이터의 제2 전극을 상기 전도성 링 요소의 외부 전도성 부분과 접촉시키는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 49

제41항에 있어서,

상기 집속 렌즈에 인접한 상기 헤드 요소의 주변부에 감쇠 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 50

제41항에 있어서,

상기 집속 렌즈에 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하고,

상기 매칭 층은 상기 변환기 헤드 요소의 제1 음향 임피던스보다 작은 매칭 음향 임피던스를 갖는,

방법.

청구항 51

유체 불투과성 초음파 변환기를 형성하는 방법이며,

변환기 헤드 요소를 정의하는 내부 공동 및 제1 폐쇄 말단을 갖는 중공형 케이싱을 티타늄을 포함하는 유체 불투과성 재료로부터 형성하는 단계와,

상기 헤드 요소의 전면 상에 초점을 향해 초음파를 집속시키도록 구성된 집속 렌즈를 형성하는 단계와,

초음파가 상기 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 상기 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능한 액추에이터를 상기 전면에 대향하는 상기 변환기 헤드의 후면에 접합하는 단계와,

상기 집속 렌즈를 둘러싸는 주변부를 형성하는 단계와,

상기 주변부와 인터페이싱되고, 상기 액추에이터로부터 상기 주변부를 통해 방출된 초음파 에너지를 흡수하도록 구성되는 감쇠 층을 형성하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 52

제51항에 있어서,

상기 집속 렌즈를 형성하는 단계는, 상기 헤드 요소의 전면으로부터 재료를 제거하는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 53

제51항에 있어서,

상기 케이싱 내의 상기 액추에이터에 인접하여 그 뒤에 후면 재료를 삽입하는 단계와,

밀봉재로 상기 케이싱의 내부 공동의 나머지를 충전하는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 54

제53항에 있어서,

내부 전도성 부분 및 외부 전도성 부분을 갖는 전도성 링 요소를 상기 후면 재료의 주변부 주위에 그리고 상기 액추에이터와 접한 케이싱 내로 삽입하는 단계와,

상기 액추에이터의 제1 전극을 상기 전도성 링 요소의 내부 전도성 부분과 접촉시키는 단계와,

상기 액추에이터의 제2 전극을 상기 전도성 링 요소의 외부 전도성 부분과 접촉시키는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 55

제51항에 있어서,

매칭 층을 상기 집속 렌즈에 적용하는 단계를 추가로 포함하고,

상기 매칭 층은 식 $Z_m = \sqrt{Z_1 Z_c}$ 에 따른 Z_m 에 대응하는 매칭 음향 임피던스를 갖는 재료를 포함하고,

Z_1 는 상기 헤드 요소에 대응하는 제1 음향 임피던스이고, Z_c 는 매질에 대응하는 제2 음향 임피던스인,

방법.

청구항 56

제55항에 있어서,

상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배의 두께로 맞추기 위해 상기 매칭 층의 두께를 감소시키는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 57

제55항에 있어서,

상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배에 해당하는 두께로 상기 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 58

제51항에 있어서,

상기 집속 렌즈에 인접한 상기 헤드 요소의 주변부에 감쇠 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는,

방법.

청구항 59

제51항에 있어서,

상기 집속 렌즈에 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하고,

상기 매칭 층은 상기 변환기 헤드 요소의 제1 음향 임피던스보다 작은 매칭 음향 임피던스를 갖는, 방법.

청구항 60

유체 불투과성 변환기로 유체 저장조로부터 액적을 분출하는 방법이며,

상기 유체 불투과성 변환기는,

케이싱과,

금속 집속 렌즈를 포함하는 유체 불투과성 변환기 헤드와,

액추에이터를 포함하고,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드 및 상기 케이싱은 티타늄을 포함하고,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드는 후면 및 전면을 갖고,

상기 금속 집속 렌즈는, 상기 전면 상에 위치하고, 초음파를 초점으로 집속시키도록 구성되고,

상기 액추에이터는 상기 유체 불투과성 변환기 헤드의 후면에 접합되고 상기 금속 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능하여, 초음파가 상기 금속 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 하고,

상기 케이싱 및 상기 유체 불투과성 변환기 헤드는, 상기 케이싱 내부로 액체 유입을 방지하기 위해 액체 불투과성 방식으로 연결되고,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드의 전면은,

상기 금속 집속 렌즈를 둘러싸는 주변부와,

상기 주변부와 인터페이싱되고, 상기 액추에이터로부터 상기 주변부를 통해 방출된 초음파 에너지를 흡수하도록 구성되는 감쇠 층을 포함하고,

상기 유체 불투과성 변환기로부터 상기 저장조로 음향 에너지를 커플링하기 위해 위치하는 상기 금속 집속 렌즈를 음향 매질에 침지시키는 단계와,

상기 저장조의 유체 표면으로부터 액적을 분출하도록 구성된 주파수로 상기 액추에이터에 의해 음향 펄스를 발생시키는 단계와,

상기 금속 집속 렌즈를 통해 상기 액추에이터에서 상기 저장조로 상기 음향 펄스를 통과시키는 단계를 포함하는,

방법.

청구항 61

유체 불투과성 변환기로 구조물의 초음파 테스트를 수행하는 방법이며,

상기 유체 불투과성 변환기는,

케이싱과,

금속 집속 렌즈를 포함하는 유체 불투과성 변환기 헤드와,

액추에이터를 포함하고,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드 및 상기 케이싱은 티타늄을 포함하고,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드는 후면 및 전면을 갖고,

상기 금속 집속 렌즈는, 상기 전면 상에 위치하고, 초음파를 초점으로 집속시키도록 구성되고,

상기 액추에이터는 상기 유체 불투과성 변환기 헤드의 후면에 접합되고 상기 금속 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능하여, 초음파가 상기 금속 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 하고,

상기 케이싱 및 상기 유체 불투과성 변환기 헤드는, 상기 케이싱 내부로 액체 유입을 방지하기 위해 액체 불투과성 방식으로 연결되고,

상기 유체 불투과성 변환기 헤드의 전면은,

상기 금속 집속 렌즈를 둘러싸는 주변부와,

상기 주변부와 인터페이싱되고, 상기 액추에이터로부터 상기 주변부를 통해 방출된 초음파 에너지를 흡수하도록 구성되는 감쇠 층을 포함하고,

상기 구조물과 유체 접촉하는 음향 매질에 상기 금속 집속 렌즈를 침지시키는 단계와,

상기 액추에이터에 의해 음향 펄스를 생성해 상기 구조물의 스캔 부위로 유도하는 단계와,

상기 스캔 부위에 해당하는 상기 음향 펄스의 에코를 수신하는 단계와,

상기 에코의 특징에 기초하여 상기 구조물의 스캔 부위의 물리적 파라미터를 결정하는 단계를 포함하는,

방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 초음파 변환기는 다양한 응용 분야에서, 예컨대 의료 영상화, 초음파 에너지가 유기체 내의 조직을 가열하거나 파괴하는 과정, 및 유체 액적의 분출을 위한 공정에 사용된다. 상기 경우의 전부 또는 일부는, 초음파 변환기가 음향 에너지를 작은 초점에 집속하는 능력을 요구할 수 있다. 예로서, 음향 수단을 사용하여 유체 액적을 제조하는 일부 방법은, Ellison의 미국 특허 제8,544,976호와 Stearns 등의 미국 특허 제6,416,164호에 설명된 것을 포함하며, 이들 모두는 모든 목적을 위해 본원에 참조로 포함된다.

배경 기술

[0002] 초음파 음향 방사는 다양한 수단에 의해 집속될 수 있다. 예를 들어, 음향 방사를 초점으로 유도하거나 전환시키기 위해 곡면을 사용할 수 있다. 유체 액적을 생성하는 공정의 경우, 초점을 유체 표면 근처에 배치할 수 있다. 이러한 기술이 Lovelady 등의 미국 특허 제4,308,547호에 설명되어 있다. 일부 상업적으로 이용 가능한 음향 변환기는 만곡형 표면을 통해 음향 에너지를 집속시키고 Camasonics(윌트셔, 영국), GE/Krautkramer, Sonic Concepts사(보텔, 워싱턴주, 미국), 및 Sonotec(할레, 독일), Ultrason Group(스테이트 칼리지, PA, 미국)에 의해 제조된 일부 집속 침지 변환기를 포함한다. 음향 에너지를 집속시키는 다른 방법은 프렌넬 렌즈의 사용을 포함하고, 예를 들어 Quate 등의 미국 특허 제 5,041,849호에 설명되어 있다. 일반적으로 다양한 만곡형 표면 및 구형 표면 변환기가 비파괴 테스트(NDT) 산업계, 의료 산업계 등에 사용된다. 본원에서 사용되는 바와 같이, "침지"는, NDT에 대한 침지를 종래대로 정의한 것(변환기가 액체 커플링 유체에 부분적으로 또는 완전히 침지)뿐만 아니라, 변환기의 임의의 부분이 액체에 노출되는, 즉 변환기의 일부가 유체와 커플링 접촉하는 응용 분야를 포함하기 위해 보다 일반적인 의미로 사용될 수 있다.

[0003] 초음파 변환기는, 통상적으로 액추에이터 및 상기 액추에이터에 의해 생성된 음향 에너지를 집속시키는 집속 요소를 포함한다. 액추에이터의 일부 예시는 압전 및 자왜 요소를 포함한다. 작동시, 액추에이터는 초음파 구동 주파수에서의 신호에 의해 구동되고, 물리적 활성 요소에서 초음파 진동을 생성한다. 이들 진동은 주변 매질, 예컨대 액체나 겔(예, 물)로 그리고 그곳에서 구조물 또는 관심 매질로 방출된다. 예를 들어, 액적 분출을 포함하는 응용 분야에서, 음향 에너지는 변환기로부터 초음파 진동의 형태로, 물과 같은 음향 전도성 유체 또는 커플링 유체를 통해, 그리고 그곳에서 액적이 분출되는 저장조로 전달될 수 있다. 액체 매질에 침지되는 동안에 음향 에너지를 주로 또는 우선적으로 집속시키도록 설계된 변환기는, 침지 변환기로 일반적으로 지칭된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 집속 침지 변환기는 형상화된 물리적 활성 요소를 사용하고, 이는, 예를 들어 만곡면을 포함할 수 있거나 프레넬 렌즈 또는 유사한 구조를 사용할 수 있다. 이러한 경우, 상기 면은 집속 형상으로 정밀하게 형성될 수 있고, 음향 에너지를 액체 매질로 쉽게 전달할 수 있는 재료로 구성되어야 한다. 이를 위해, 전통적인 집속 침지 초음파 변환기는 경화 에폭시 수지, 세라믹, 복합재, 또는 유사 재료를 사용하여 집속 렌즈의 집속 형상을 형성한다. 이러한 집속 렌즈 재료는 몰딩 또는 다른 순형상 제조 방법에 의해 형성될 수 있고, 대략 제한된 지속 시간까지 방수가 되지만, 이러한 재료는 열화되기 쉽고, 오랜 지속 시간 동안 물에 노출되는 경우에 점진적으로 물을 흡수하는 경향이 있고, 변형에 이르고, 음향 특성을 변화시키고, 궁극적으로 변환기가 파괴될 수 있음이 밝혀졌다. 이러한 변환기는 단기간의 침지 응용 분야에 적합할 수 있지만, 장기간의 침지를 요구하는 응용 분야에서는 더 큰 정밀도와 내구성을 필요로 한다. 종래 NDT 절차에 사용되는 것과 같은 전형적인 침지 변환기는 액적 분출 변환기에 비해 액체에서 비교적 낮은 듀티 사이클을 갖고, 시간 경과에 따라 일정한 초점 길이를 가질 필요가 없다. 그러나, 음향 액적 분출 응용 분야의 경우에 장치 성능은 초점의 일관성에, 특히 긴 침지 기간에 걸친 일관성에 더욱 의존한다. 따라서, 변환기가 장기간 동안 침지됨에도 불구하고 좁은 범위의 집속 거동 내에서 수행하고 그 좁은 범위 내에서 유지되는 변환기 군을 갖는 것이 바람직하다.

과제의 해결 수단

[0005] 본원에 설명된 구현예는, 변환기 헤드와 케이싱의 어셈블리를 포함한 변환기를 포함하며, 상기 변환기 헤드는, 전방으로 대면한 집속 렌즈와 후방으로 대면한 변환기 헤드의 후면을 갖는다. 상기 케이싱은 상기 변환기 헤드와 연결되고 후방 방향으로 연장되고, 액추에이터는, 상기 변환기 헤드의 후면의 케이싱 후방에 배치되고, 상기 변환기 헤드를 통해 전방 방향으로 음향 에너지를 전달하도록 작동 가능하다. 본원에서 설명되는 바와 같이, 유체 불투과성은, 변환기가 사용되는 경우에 작동 유체에 반드시 침지되는 변환기의 부분에 적어도 적용될 수 있다. 예를 들어, 다양한 구현예에 따라, 변환기 헤드와 케이싱은, 유체 불투과성인 변환기의 작동 부분을 정의할 수 있다. 유체 불투과성은, 예를 들어 물 또는 유사한 점성 반응성 및 비-반응성 용매에 대해 불투과성을 포함하거나, 비극성, 극성 양성자성 및 극성 비양성자성 용매 및 특히, 물/수성 용액(염수 포함), DMSO, 알콜, 알칸, 오일, 계면활성제 등을 포함한 공통 액체 및/또는 용매 시스템에 의한 침투에 불투과성인 것을 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 유체 불투과성은, 멸균 과정 동안에 사용되는 고온/고압 조건 및 종래 작동 조건 모두에서 증기 가열, 용매 증기, 수증기, 공기 또는 기타 유사 가스에 불투과성인 것을 또한 포함한다. 일부 추가적인 구현예에 따라, 변환기의 작동 부분 이외의 부분도 유체 불투과성일 수 있고, 예를 들어 일부 구현예에서는 케이싱을 액체 침입에 대해 전체 밀봉시킬 수 있다.

[0006] 다양한 구현예에 따라, 케이싱 및 변환기 헤드는 하나 이상의 유체 불투과성, 비-흡수성 고체 재료, 예를 들어 금속 원소, 금속 합금, 세라믹 또는 유사 재료로 형성된다. 변환기 헤드 및/또는 케이싱은, 적절한 음향 성능을 갖는 임의의 적절한 불침수성 재료로 형성될 수 있다. (단일 부품인 경우의) 상기 재료 또는 (다수의 부품인 경우의) 상기 어셈블리는 바람직하게는 기밀성 및 유체(물을 포함하나 이에 제한되지 않음) 불투과성을 제공하고, 변환기 헤드는 바람직하게는 과하지 않은 음향 임피던스를 갖고, 즉 높은 음향 손실 및/또는 이하에서 논의되는 바와 같이 "링잉" 증가를 야기하지 않는다. 적절한 재료는, 예를 들어 알루미늄, 베릴륨, 카드뮴, 게르마늄, 납, 은, 주석, 티타늄, 아연, 지르코늄, 상기 중 임의의 합금 또는 상기 재료 중 임의의 재료를 포함하는 복합체를 포함할 수 있으며, 부식, 독성 또는 구조적 취약점을 완화하기 위한 실란트, 도펀트 또는 유사 수단을 갖을 수도 갖지 않을 수도 있다. 변환기 헤드(또는 렌즈)에 대한 재료의 선택은, 유체 불투과성뿐만 아니라 비교적 균질한 기계적 특성에 있어서 종래의 에폭시 렌즈와 대조적이다. 따라서, 변환기 헤드(또는 렌즈)는 침지되는 경우에 기계적으로 균질하게 유지되어, 변환기의 수명에 걸쳐 지속적인 양호한 빔 대칭을 생성한다.

[0007] 케이싱 및 변환기 헤드는 불침수성 및 비-흡수 결합부를 만드는 방식, 예를 들어 함께 용접되거나 또는 브레이징되거나 공통 부품으로 형성되거나 달리 영구적이고 불침수성 결합되는 방식으로 바람직하게 결합된다. 변환기 헤드는 고정밀도 응용 분야용 재생 가능한 음속을 전달할 수 있는 재료로 바람직하게 형성되고, 따라서 높은 음향 속도를 갖는 재료가 바람직하다. 대안적으로, 케이싱 및 변환기 헤드의 일부는, 어셈블리가 장기적인 기밀성에 영향을 미치지 않는다면, 금속과 조합된 세라믹 또는 플라스틱과 같은 다수의 재료로 제조될 수 있다. 예를 들어, 플라스틱 또는 세라믹 슬리브는 금속 케이싱 주위에 배치될 수 있거나, 금속은 변환기 헤드 및/또는 변환기 헤드 구성 요소를 포함한 어셈블리의 내부 및/또는 외부에 도금될 수 있다.

[0008] 다양한 구현예에 따라, 케이싱 및 변환기 헤드는 작동 부분을 정의하는 연속 요소로 형성될 수 있고, 여기서 집속 렌즈는 상기 연속 요소의 변환기 헤드 부분 상에 바로 형성되고, 액추에이터는 집속 렌즈 뒤의 케이싱 내에 위치한다.

- [0009] 일부 구현예에 따라, 집속 렌즈는, 음향 에너지를 집속하도록 구성된 변환기 헤드의 오목한 부분으로 형성된다. 이 오목부는 구형 음향 렌즈, 원통형 음향 렌즈, 또는 다른 적절한 음향 집속 형상으로 형성될 수 있다. 일부 구현예에서, 집속 렌즈는 음향 에너지를 집속하도록 구성된 회절 음향 렌즈를 포함할 수 있다. 집속 렌즈를 둘러싸는 주변부는 변환기 헤드 림을 정의할 수 있고, 일부 구현예에서 감쇠 층이 변환기 헤드 림에 위치하며, 상기 감쇠 층은 음향 에너지를 흡수하도록 작동 가능하다. 일부 구현예에서, 보조 변환기는 감쇠 층 상에 위치할 수 있고 감쇠 층에 의해 변환기에서 분리될 수 있다.
- [0010] 변환기 헤드는, 집속 렌즈로부터 매칭 층을 통해 매질로 전달되는 음향 신호의 손실을 감소시키기 위해, 집속 렌즈 상에 배치된 매칭 층을 추가로 포함할 수 있다. 따라서, 변환기가 기능하도록 의도된 매질의 음향 특성에 부분적으로 기초하여, 매칭 층을 선택할 수 있다. 전형적인 음향 매질은 물, 수용액, 또는 물과 유사한 점도를 갖는 기타 유체뿐만 아니라, 다양한 저-음향-손실 겔, 예컨대 SONOGLIDE(Sonotech, Inc., 벨링햄 WA) 또는 SONOGEL(Sonogel Vertriebs GmbH, 베드 캅베르그, 독일)과 같은 물/프로필렌 글리콜 계열 겔 커플런트 또는 AQUALENE(캐나다 특허 출원 CA2127039 A1)과 같은 고체 건조 커플런트를 포함하나, 이에 제한되지 않는다. 매칭 층은, 변환기 헤드 및 매질의 음향 임피던스 사이의 음향 임피던스를 갖고, 일반적으로 식 1을 참조하여 아래에 정의된 매칭 값에 가깝다. 매칭 층은, 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배에 해당하는 두께를 갖는다.
- [0011] 본원에 설명된 구현예는 또한 유체 불투과성 변환기를 형성하는 방법을 포함한다. 예를 들어, 다양한 구현예에 따라, 유체 불투과성 변환기는, 내부 공동 및 제1 개방 말단을 갖는 실질적인 중공 케이싱을 유체 불투과성 재료로부터 형성하는 단계, 상기 유체 불투과성 재료로 형성된 헤드 요소로부터 재료를 제거하여 상기 헤드 요소 상에 집속 렌즈를 형성하는 단계, 및 상기 헤드 요소를 상기 케이싱의 제1 말단과 결합하여 유체 불투과성 결합부를 형성하는 단계에 의해 제조될 수 있다. 집속 렌즈가 케이싱으로부터 멀어지도록 헤드 요소를 위치시키고, 변환기 헤드에 인접한 케이싱에 액추에이터를 삽입할 수 있다. 감쇠 층은 집속 렌즈에 인접한 헤드 요소의 주변부에 적용될 수 있다.
- [0012] 유체 불투과성 변환기를 형성하는 방법은, 변환기 헤드를 정의한 내부 공동 및 제1 폐쇄 말단을 갖는 실질적인 중공형 케이싱을 유체 불투과성 재료로부터 형성하는 단계; 상기 제1 폐쇄 말단의 외부 표면에서 재료를 제거하여 상기 제1 폐쇄 말단 상에 집속 렌즈를 형성하는 단계; 및 상기 변환기 헤드에 인접한 케이싱 내에 액추에이터를 삽입하는 단계를 또한 포함할 수 있다. 상기 헤드 요소는 정밀 기계 가공 공정을 통해 헤드 요소에 형성된 오목 음향 렌즈를 포함할 수 있고, 매칭 층은 상기 집속 렌즈에 적용될 수 있으며, 상기 매칭 층은 변환기 헤드의 제1 음향 임피던스보다 작은 매칭 음향 임피던스를 갖는다.
- [0013] 본원에 설명된 구현예는, 또한 본원에서 설명된 유체 불투과성 변환기의 임의의 구현예에 따라, 유체 불투과성 변환기를 사용하여 유체의 저장조로부터 액적을 분출하는 방법을 포함한다. 구체적으로, 이러한 구현예는, 변환기로부터 액적 분출용 유체의 연속 공급 저장조로 음향 에너지를 커플링하기 위해 위치한 음향 매질 또는 커플링 매질 내에 유체 불투과성 변환기의 집속 렌즈를 침지하는 단계를 포함한다. 일부 구현예에서, 유체 저장조 및 음향 매질은 동일한 유체일 수 있거나, 연속 저장조일 수 있다. 그러나, 음향 매질은 일반적으로 변환기와 저장조 사이에 위치한 유체 또는 겔 매질일 것이고, 저장조는 커플링 매질로부터 분리된 상이한 유체를 함유할 것이다. 변환기는, 저장조의 유체 표면에서 액적 분출을 유발하도록 구성된 주파수에서 액추에이터에 의해 음향 펄스를 발생시키고, 음향 펄스를 변환기에서 집속 렌즈를 통해 그리고 음향 매질을 통해 유체 저장조로 통과시킨다.
- [0014] 본원에 설명된 구현예는, 본원에 설명된 유체 불투과성 변환기의 임의의 구현예에 따라 유체 불투과성 변환기를 갖는 구조물의 비파괴 음향 테스트(NDT)를 수행하는 방법을 또한 포함한다. 구체적으로, 이러한 구현예는, 상기 구조물과 유체 접촉하는 음향 매질 내에 유체 불투과성 변환기의 집속 렌즈를 침지하는 단계 및 상기 구조물의 스캔 부위로 지향되고 액추에이터에 의한 음향 펄스를 발생시키는 단계를 포함한다. 스캔 부위에 대응하는 음향 펄스의 에코는, "경청" 모드의 동일 변환기 또는 제2 변환기에 의해, 그리고 상기 에코 특징에 기초하여 구조물의 스캔 부위의 물리적 파라미터에 의해 수신된다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 본 개시에 따른 다양한 구현예가 도면을 참조하여 설명될 것이다.

도 1은 종래 선행 기술의 초음파 변환기의 측면도를 간단히 나타낸다.

- 도 2는 본 개시의 일부 구현예에 따른 제1 유체 불투과성 초음파 변환기의 측면도를 나타낸다.
- 도 3은, 도 2의 유체 불투과성 초음파 변환기의 측면도를 개략적으로 나타낸다.
- 도 4는, 도 2와 도 3의 유체 불투과성 초음파 변환기의 말단도를 개략적으로 나타낸다.
- 도 5는, 도 2 내지 도 4의 유체 불투과성 초음파 변환기의 다른 측면의 사시도를 나타내며, 액추에이터와 집속 렌즈에 관심을 두고 있다.
- 도 6은, 도 5의 사시도의 일부를 더 상세히 나타내며, 액추에이터에 관심을 두고 있다.
- 도 7은 본 개시의 일부 구현예에 따른 제2 유체 불투과성 초음파 변환기의 측면도를 나타낸다.
- 도 8은, 도 7의 유체 불투과성 초음파 변환기의 측면도를 개략적으로 나타낸다.
- 도 9는, 도 7 및 도 8의 유체 불투과성 초음파 변환기의 측면도를 개략적으로 나타내며, 액추에이터와 집속 렌즈에 관심을 두고 있다.
- 도 10은 본 개시의 일부 구현예에 따른 제3 유체 불투과성 초음파 변환기의 측면도를 나타낸다.
- 도 11은, 도 10의 유체 불투과성 초음파 변환기의 측면도를 개략적으로 나타낸다.
- 도 12는 본 개시의 일부 구현예에 따라, 매칭 층을 사용한 침지 변환기의 작동 구성 요소의 단순 개략도를 나타낸다.
- 도 13은 본 개시의 일부 구현예에 따라, 다중 매칭 층을 사용한 침지 변환기의 작동 구성 요소의 단순 개략도를 나타낸다.
- 도 14는 본 개시의 일부 구현예에 따라, 회절 집속 렌즈를 사용한 침지 변환기의 작동 구성 요소의 단순 개략도를 나타낸다.
- 도 15는 일부 구현예에 따라, 집속 렌즈의 비교적 큰 집속 부위를 갖는 만곡형 집속 렌즈의 단순 측면 개략도를 나타낸다.
- 도 16은, 도 15에 나타난 만곡형 집속 렌즈와 유사한 만곡형 집속 렌즈에 의해 야기되는 에코 신호를 그래프로 나타낸다.
- 도 17은 일부 구현예에 따라, 집속 렌즈의 비교적 작은 집속 부위 및 외부 흡수 층을 갖는 만곡형 집속 렌즈의 단순 측면 개략도를 나타낸다.
- 도 18은, 도 17에 나타난 만곡형 집속 렌즈와 유사한 만곡형 집속 렌즈에 의해 야기되는 에코 신호를 그래프로 나타낸다.
- 도 19는 다양한 구현예에 따라, 다양한 개구 크기를 갖는 변환기에 대한 에코 신호를 그래프로 나타낸다.
- 도 20은 다양한 구현예에 따라, 다양한 개구 크기를 갖는 변환기와 연관된, 빔 크기를 그래프로 나타낸다.
- 도 21은 구현예에 따라, 유체 불투과성 초음파 변환기에 사용하기 위한 집속 렌즈를 생성하기 위한 시스템 예시를 나타낸다.
- 도 22는 구현예에 따라, 유체 불투과성 초음파 변환기를 제조하기 위한 제1 예시 공정을 나타낸다.
- 도 23은 구현예에 따라, 유체 불투과성 초음파 변환기를 제조하기 위한 제2 예시 공정을 나타낸다.
- 도 24는 구현예에 따라, 유체 불투과성 초음파 변환기를 제조하기 위한 제3 예시 공정을 나타낸다.
- 도 25는, 변환기의 초점 길이에 대응하는 특성 시간 비행 시간(ToF)을 추정하기 위해, 유체 불투과성 변환기의 에코 지연의 함수로서 에코 진폭을 나타낸 차트이다.
- 도 26은, 초점 평면에서 음향 빔 형상 및 대칭을 추정하기 위해, 유체 불투과성 변환기의 초점 평면 전체에 대해 에코 진폭을 나타낸 등고선 플롯이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0016] 다음의 설명에서, 다양한 구현예가 설명될 것이다. 설명 목적상, 구현예를 완전히 이해시키기 위해 구체적인 구

성 및 세부 사항이 제시된다. 그러나, 다른 구성으로, 또는 특정 세부 사항 없이 실시될 수도 있음이 당업자에게 명백할 것이다. 또한, 공지된 특징부는 설명 중인 구현예를 모호하게 하지 않도록 생략되거나 단순화될 수 있다.

- [0017] 본원에서 설명된 초음파 변환기의 구현예는, 유체 불투과성 변환기 헤드를 사용한 침지 초음파 변환기를 포함한다. 유체 불투과성 초음파 변환기는 유체 불투과성 셸을 추가로 포함할 수 있고, 이는 셸과 집속 렌즈 모두를 형성한 일체형 부분일 수 있고, 또한 이 안에 액추에이터와 관련 전기 구성 요소를 포함한다. 이러한 경우, 유체 불투과성 셸 및 집속 렌즈는 동일한 유체 불투과성 부분으로 형성될 수 있다. 집속 렌즈는 그 위에 매칭 층을 추가로 포함할 수 있고, 이는 집속 렌즈로부터 액체 매질로의 음향 에너지의 전달을 개선한다.
- [0018] 일부 구현예에 따라, 초음파 변환기 케이스는 유체 불투과성 변환기 헤드를 포함할 수 있고, 집속 수단을 그 위에 포함한 집속 렌즈를 포함할 수 있고, 이는, 가령 용접, 소결 또는 유사 방수성 부착 수단에 의해 유체 불투과성 케이스에 영구적으로 고정된다. 액추에이터가 케이스의 내부에 그리고 집속 렌즈에 대향한 변환기 헤드의 후면에 인접하여 배치되어, 액추에이터는, 구동 신호로 활성화되는 경우에 변환기 헤드 내로 그리고 변환기 헤드를 통해 진동을 구동시킬 수 있다. 액추에이터는, 예를 들어 압전 액추에이터를 포함하나 이에 제한되지 않는 임의의 적절한 전기기계적 액추에이터를 포함할 수 있다.
- [0019] 본원에 설명된 유체 불투과성은, 예를 들어 물 또는 유사한 점성 반응성 및 비-반응성 용매에 대해 불투과성을 포함하거나, 비극성, 극성 양성자성 및 극성 비양성자성 용매 및 특히, 물/수성 용액(염수 포함), DMSO, 알콜, 알칸, 오일, 계면활성제 등을 포함한 공통 액체 및/또는 용매 시스템에 의한 침투에 불투과성인 것을 포함할 수 있다. 일부 구현예에서, 유체 불투과성은, 멸균 과정 동안에 사용되는 고온/고압 조건 및 종래 작동 조건 모두에서 증기 가령, 용매 증기, 수증기, 공기 또는 기타 유사 가스에 불투과성인 것을 또한 포함한다.
- [0020] 일부 구현예에서, 본원에 설명된 유체 불투과성 변환기는, 없었더라면 본 개시에서 가정될 수 있는 정상적인 대기 조건을 넘어 광범위한 상태에서 유체 불투과성을 유지한다. 유체(증기 포함) 불투과성은 정상 실험실 압력 및 온도뿐만 아니라 상승된 압력 및 온도 모두에서 바람직하고, 없었더라면 이들 압력 및 온도 인자는 변환기 내로 침투제를 구동시킬 수 있다. 예를 들어, 멸균하기 쉽게 변환기를 만드는 것이 상당한 유용하며, 따라서 적어도 일부 구현예에서 성능 변화의 감지 없이 적어도 오토클레이브 멸균 조건(예, 2 기압 초과, 바람직하게는 3 기압 초과에서 약 130° C) 하에서 액체 및/또는 증기 불투과성이다. 변환기에 대한 성능 기준은, 초점 길이, 효율, 음향 빔 형상 또는 편심, 침입이나 기타 환경에 대한 회복 탄력성, 시간 경과에 따른 작동 일관성, 및/또는 신호 대 잡음 요건을 포함할 수 있지만, 이에 제한되지 않는다. 일부 구현예에 따라, 변환기와 연관된 임의의 커넥터, 예컨대 RF 커넥터 등은 캡 내의 극한 조건에 노출되는 동안에 밀봉될 수 있거나, 커넥터를 변환기 케이스에 결합하기 위해 표준 고압/온도 기밀 RF 커넥터 설계 및 레이저 용접 기술을 사용함으로써 극단적인 압력과 상승된 온도의 유체에 침지하도록 설계될 수 있다.
- [0021] 초음파 변환기의 집속 렌즈는 음향 에너지를 집속하도록 형상화될 수 있다. 일부 특정 구현예에서, 집속 렌즈는 오목한 구형, 포물선형, 원통형, 또는 다른 집속 형상을 가질 수 있다. 집속 렌즈는 성형, 주조, 정밀 가공, 3차원 프린팅, 흐름 성형, 코팅, 에칭 또는 다른 적절한 형상화 또는 성형 수단 또는 이들의 조합에 의해 형상화될 수 있다. 일부 구현예에 따라, 집속 렌즈는 그 위에 매칭하는 층을 추가로 포함한다. 매칭 층은 집속 렌즈와 액체 매질의 음향 임피던스 사이의 음향 임피던스를 갖는 재료의 얇은 층으로 형성되고, 이는 집속 렌즈, 매칭 층, 및 액체 매질의 재료 사이의 단차 전이에 따라 전체 전이 손실을 줄이도록 음향 에너지를 전달하기 위해 구성된다.
- [0022] 변환기 헤드의 후면은 에폭시 또는 알콕시실란 또는 기타 적절히 견고하고 영구적인 접착제에 의해 액추에이터에 결합될 수 있어서, 액추에이터에 의해 유도된 진동은 변환기 헤드에 신뢰성 있게 전달되고, 집속 렌즈 밖으로 인접한 재료에, 전형적으로는 초점을 향해 음향 에너지를 전달하는 커플런트를 통과한다.
- [0023] 일부 구현예에 따라, 액추에이터는 변환기 헤드의 후면과 후면 재료 사이에 끼워질 수 있고, 이 지지 재료는, 음향 에너지를 액추에이터로부터 변환기 헤드를 통해 액체 매질 내로 유도하고 액추에이터 층의 후면을 향해 이동하는 음향 에너지를 흡수해서 액추에이터에서의 반향을 감소시키고, 에코를 감소시키며, 더 깨끗한 신호를 생성하는 데 도움을 준다. 예를 들어, 일부 구현예에서, 후면 재료는 음향 산란 재료, 예컨대 구리, 인듐-납, 이산화티탄, 텅스텐, 또는 이들 또는 유사한 재료의 조합을 포함할 수 있다. 그리고, 일부 구현예에서, 후면 재료 내의 음향 흡수 재료는 에폭시, 폴리우레탄, 실리콘 또는 유사한 재료의 조합일 수 있다. 산란 및 흡수 재료 둘 다 입자로서 존재하고 음향 흡수 재료의 매트릭스 내에 분산될 수 있다. 액추에이터는, 열경화성 에폭시 수지 등과 같은 영구 접착제의 얇은 층에 의해 변환기 헤드 및/또는 후면 재료 중 하나 또는 모두에 결합될 수 있다.

- [0024] 후면 층 및 특히 그의 균일성은 변환기의 전체 성능에 영향을 미칠 수 있다. 특히, 하나 이상의 성분을 포함한 후면 층 조성물에 대해서, 성분의 공간 분포는 중요한 고려 사항일 수 있다. 예를 들어, 음향 흡수 재료에 현탁된 음향 산란 재료를 포함한(두 밀도가 상당히 차이가 있음) 후면 층에 대해서, 예를 들어 가교 결합, 냉각, 겔화, 중합화 또는 형성 중에 발생할 수 있는 다른 공정으로 인해 성분 중 하나가 다른 하나의 이동에 더욱 저항성이 되어 침강하는 것을 피하기 위해, 제조 동안 균일성을 보존하도록 조심해야 한다. 후면 층 재료의 균일성은 다양한 제조 방법에 의해 달성될 수 있다. 예를 들어, 후면 층 재료 내의 밀도 차이가 성분 간에 상대적 이동을 생성하기에 매우 충분한 경우에, 불균일한 분포로 이어질 수 있는 부력은 제조 중에 교반하는 등의 방법으로 완화될 수 있다.
- [0025] 액추에이터는 압전 액추에이터와 같은 임의의 적절한 전기기계적 액추에이터일 수 있다. 특정 구현예에서, 액추에이터는 얇은 세라믹 압전 요소와 같으나 이에 제한되지 않는 압전 디스크이다. 이 같은 요소는, 양극 및 음극을 갖는 얇은 압전 세라믹 요소를 포함하며, 상기 양극 및 음극 중 하나는 세라믹 요소의 한 측면인 디스크 표면의 일부 또는 대부분 및 중심을 커버하는 얇은 전도성 디스크로 형성되고, 상기 양극 및 음극 중 다른 하나는 액추에이터의 측면을 감싸는 다른 얇은 전도성 디스크로 상기 액추에이터 디스크의 후면 측에 형성된다. 상기 양극 및 음극으로의 전기적 연결은 액추에이터의 후면 상에 위치한 원통형 링의 형상이고 절연 재료로 만들어진 전도체 링에 의해 제공된다. 전도체 링은, 전기 전도성 트레이스, 예를 들어 내부 및 외부 표면을 코팅한 구리를 갖는다. 전도체 링은 세라믹 요소의 에지 상에 또는 그 주위에 위치하고, 임의의 적절한 방법, 예를 들어 전도성 에폭시, 납땜, 또는 유사한 방법에 의해 양극 및 음극 전도성 디스크와 전기적으로 연결된다. 따라서, 짧은 임펄스 또는 톤-파열 파형과 같은 전기 구동 신호를 양극 및 음극으로 전도성 링을 통해 공급하는 경우에, 세라믹 요소는 격판으로서 작용하고 구동 신호에 따라 진동한다. 적절한 압전 세라믹 요소는 바륨 티타네이트, 폴리비닐리덴 디플루오라이드, 납 지르코네이트 티타네이트 조성물, 리튬 니오베이트, 징크 옥사이드, 알루미늄 나이트라이드 및 유사 재료를 포함하나 이에 제한되지 않는다.
- [0026] 특정 구현예는 도면을 참조하여 이하에서 상세히 설명된다.
- [0027] 도 1은 종래 초음파 변환기(100)의 개략 측면도를 단순히 나타내고, 이는 케이스(102), 및 액추에이터(116)에 인접한 케이스 내에 삽입된 변환기 헤드(104)를 포함한다. 변환기 헤드(104)는, 예를 들어 몰딩된 에폭시 수지, 실리콘, 또는 다른 유사한 재료로 형성될 수 있다. 변환기 헤드(104)는 변환기 헤드와 케이스(102) 사이에 경계면(108)을 갖되, 상기 변환기 헤드는 변환기 헤드와 케이스로 액체 침입을 방지하기 위해 이론적으로 크기 조절되나, 시간 경과에 따라 변환기 헤드(104)는 액체를 흡수 및 열화될 수 있거나 변형될 수 있어 액체는 경계면을 통과할 수 있다. 이러한 흡수 또는 열화는 궁극적으로 액추에이터(116)로의 액체 침투를 허용할 수 있거나, 또는 액추에이터로부터 변환기 헤드(104)의 박리를 야기할 수 있다. 변환기 헤드(104)의 변형은 시간 경과에 따른 초점 길이 변동, 또는 변환기 헤드에 의해 생성된 빔 패턴의 변동으로 발현된다. 마찬가지로, 박리화는, 시간 경과에 따라 액추에이터(116)로부터 변환기 헤드(104)로의 전력 효율 및/또는 음향 전달 균일성의 상당한 손실을 야기할 수 있다.
- [0028] 도 1의 종래 초음파 변환기(100)와 대조적으로, 도 2는 액체 불투과성 초음파 변환기(200)의 예시를 나타내고, 이는 시간이 지남에 따라 액체 흡수로 인한 열화가 쉽지 않다. 액체 불투과성 초음파 변환기(200)는 케이싱(202)과 변환기 헤드(204)를 포함한다. 케이싱(202)은 변환기 헤드 섹션(202a)과 본체 섹션(202b)을 포함하며, 이들은 영구적으로 결합된다. 케이싱(202)을 밀봉하기 위한 적절한 결합 기술은, 예를 들어 용접(레이저 용접, 마찰 용접 등) 또는 유사한 방법을 포함할 수 있고 유체 불투과성 결합부(242)(도 3)를 생성한다. 일부 경우에, 케이싱(202)은 단일의 일체형 부분일 수 있고, 다른 구현예를 참조하여 아래에서 논의된 바와 같다. 케이싱(202) 및 변환기 헤드(204)는, 완전히 유체 불투과성이고 침수성으로부터 케이싱의 내용물을 보호하는 변환기의 작동부를 형성한다.
- [0029] 변환기 헤드(204)는 케이싱(202)의 전방 대면부(전방 대면은, 의도된 음향 에너지 전달의 방향을 의미함)로 형성된다. 외부에서 보이는 변환기(200)의 다른 구성 요소는, 변환기를 신호 공급원(미도시)에 전기적으로 연결하기 위한 커넥터(208)를 포함하며, 이는 케이싱(202)과 연결되어, 예를 들어 케이싱(202)과 커넥터(208) 주위에 영구 부착된 너트(210)에서 연결되어 사용자가 변환기의 위치를 조절하는 취급 수단을 제공할 수 있다. 전자 부품을 포함한 케이싱(202)은, 케이싱 내의 공극(206)을 통해 삽입될 수 있는, 에폭시와 같은 포팅 재료로 또한 후충진될 수 있다. 기준 평면(3) 및 (4)은 각각 도 3 및 도 4에 도시된 단면도를 나타낸다.
- [0030] 도 3은, 도 2의 유체 불투과성 초음파 변환기(200)의 측면도를 간략히 나타내고, 이의 내부 상세 사항에 관심을 두고 있다. 케이싱(202)은 변환기 헤드(204)를 포함하고, 이는 좁은 변환기 헤드 림(214)에 의해 경계가 정해진

오목 집속 렌즈(212)를 포함한다. 집속 렌즈(212)는, 렌즈 표면의 전부 또는 대부분에 걸쳐 배치된 얇은 음향 매칭 층을 포함한다. 매칭 층은 도 9 및 도 12 및 도 13, 예를 들어 매칭 층(370)(도 9)을 참조하여 이하에서 더욱 상세히 설명된다.

[0031] 오목 집속 렌즈(212)와 대향하여, 변환기 헤드 후면(216)은 압전 디스크인 액추에이터(222)와 연결된다. 액추에이터(222)는 양극(226)과 음극(228)을 포함하고, 양극은 내부 공동(218)을 향하여 액추에이터의 중심에 대해 배열되고, 음극은 액추에이터의 주변부 주위의 링에 그리고 변환기 헤드(204)를 향해 액추에이터에 대해 배열되고, 도 6을 참조하여 더 설명된다. 전극의 이러한 배열은 한 종류의 액추에이터에 특정한 것이고, 본 개시는, 전극의 서로 다른 배열을 가질 수 있는 전기기계적 액추에이터를 포함함을 이해할 것이다. 또한, 대안적인 구현예에서, 액추에이터(222)는 압전 액추에이터와는 다른 유형의 액추에이터, 예컨대 자기저항성 액추에이터, 음성 코일 액추에이터, 또는 다른 유사 전기기계적 액추에이터일 수 있다.

[0032] 액추에이터(222)는 변환기 헤드 후면(216)에 결합되거나 접합되어, 액추에이터가 변환기 헤드(204)를 통해 진동을 부여할 수 있다. 일부 구현예에 따라, 액추에이터(222)는, 고강도 에폭시 또는 유사한 재료의 층과 같은 접착제에 의해 변환기 헤드 후면(216)에 접합된다. 접합은 바람직하게는 얇고 실질적으로 균일한 접착제의 층에 의해 달성되어, 박리의 가능성을 최소화하면서 액추에이터로부터 변환기 헤드로 음향 에너지의 커플링을 최대화한다. 액추에이터(222)는, 또한 로딩된 매트릭스를 포함한 후면 재료(224)와 연결된다. 후면 재료(224)는, 액추에이터가 작동하고 있는 경우에 액추에이터(222)를 변환기 헤드 후면(216)에 대해 자기 위치에 제대로 유지하기 위한 적절한 중량과 액추에이터에서 발생한 음향 신호에 간섭하는 것으로부터 에코 효과를 최소화하거나 방지하기 위해 케이싱(202)을 통해 뒤로 이동하는 반향을 효과적으로 없애기 위한 적절한 음향 임피던스를 갖는, 하나 이상의 재료로 구성된다. 일부 구현예에 따라, 후면 재료(224)의 음향 임피던스는 대략 15 Mrayl이다. 다양한 구현예에서, 후면 재료(224)의 음향 임피던스는, 예를 들어 약 13.5 내지 약 16.5 Mrayl, 또는 약 8 내지 약 28 Mrayl일 수 있다. 후면 재료(224)는 에폭시 매트릭스와 같은 임의의 적절한 음향 흡수 물질로 구성될 수 있다. 구체적인 구현예에서, 후면 재료(224)는, 하나 이상의 세라믹 및/또는 금속 재료 또는 입자로 함침된 감쇠 폴리머 매트릭스, 예컨대 구리, 실리콘 카바이드, 티타늄 옥사이드, 텅스텐 등으로 함침된 에폭시 매트릭스로 형성된 복합 재료이다.

[0033] 후면 재료에서의 입자의 특정 농도 및 조성은 음향 임피던스를 조절하기 위해 변화될 수 있다. 후면 재료의 바람직한 음향 임피던스는, 일반적으로 압전 재료의 음향 임피던스의 최대값과 상기 최대값의 약 1/3의 최소값 사이이다. 음향 임피던스가 근사하게 일치하면 더 높은 효율을 초래하나 반향이 더 두드러지는 반면에, 임피던스의 간극을 증가시키면 효율성을 희생시키면서 반향을 감소시킨다. 따라서, 후면 재료의 특정 음향 임피던스는 변환기가 의도한 특정 응용 분야(반향이 수용 가능한 고 전력 응용 분야에서 반향이 감소되어야 하는 고 정밀 응용 분야의 범위)에 기반하여 부분적으로 선택될 수 있다. 일부 구현예에 따라, 후면 층은 하나 이상의 재료로 형성될 수 있고, 음향 흡수 재료에 현탁된 음향 산란 재료의 입자를 포함할 수 있다. 이러한 후면 층은 바람직하게 음향적으로 균질하다. 이러한 균질성은, 입자 분포가 후면 층 전체에 걸쳐 또한 균질하도록 후면 층을 제조함으로써, 달성될 수 있다.

[0034] 후면 재료(224)는, 액추에이터(222)로의 전기적 연결부를 수용하기 위해 내부에 채널 및 공극을 갖는, 액추에이터(222) 바로 뒤의 공간을 충전한다. 일부 구현예에 따라, 전도성 링(220)은 액추에이터(222)의 외부 부분과 접촉하기 위해 후면 재료(224) 주위에 위치한다. 도 4 내지 도 6을 참조하여 이하에서 더 구체적으로 나타낸 바와 같이, 정(226) 및 부(228) 회로는 전기 신호를 액추에이터(222)의 양극(230) 및 음극(232) 부분에 전달하기 위해 내부에서 연결된다. 일부 구현예에 따라, 전도성 링(220)의 외부 부분(220b)을 음극(232)용 접촉 요소로서 사용할 수 있고, 전도성 링의 내부 부분(220a)을 양극(230)용 접촉 요소로서 사용할 수 있으며, 전도성 링의 나머지 부분은 외부 부분으로부터 내부 부분을 절연시킨다. 그러나, 이러한 배열이 반대가 될 수 있음을 이해할 것이다. 정 및 부 회로(226, 228)에 의해 반송되는 전기 신호는 제어되고, 조절되고, 신호 보드(236) 내의 전자 부품에 의해 회로로 유도될 수 있다. 신호 보드(236)는 전기적 핀(238)과 소켓(240)을 통해서 커넥터(208)에 작동 가능하게 연결된다. 신호 보드(236)의 작동에 대한 구체적인 세부 사항은 도 4를 참조하여 이하에서 설명된다.

[0035] 케이싱(202)의 내부 공동(218)의 나머지 공간은 에폭시 수지와 같은 불활성 밀봉재 재료로 충전될 수 있고, 이는 케이싱(202) 내부에 내부 구성 요소를 고정하기 위해 작동 가능하다. 이러한 밀봉재는, 변환기(200)의 커넥터 말단이 액체에 노출되거나 침지된다면, 물이 공동(218) 내로 침입되는 것을 또한 방지할 수 있다. 공동(218)은 공극(206)(도 2)을 통해 충전될 수 있고, 이는 집속 렌즈(212)로부터 원위에 위치하고, 따라서 변환기의

사용시 침지된 작동 유체로부터 멀리 위치한다.

[0036] 도 4는, 도 2 및 도 3의 유체 불투과성 초음파 변환기(200)의 말단도를 개략적으로 나타내고, 특히 신호 보드(236)를 나타낸 섹션을 나타낸다. 나타낸 바와 같이, 신호 보드(236)는 전기적 매칭 네트워크(246)를 포함하고, 이는 인덕터(미도시)를 포함하고 양 회로(226)의 어레이를 함께 연결할 수 있다. 정 회로(226)는, 변환기(200)의 작동시 액추에이터(222)의 양극(230) 전체에 대해 신뢰성 있는 신호 전달을 제공하는 방식으로 함께 배열된다. 신호 보드(236)는, 또한 부(또는 접지) 회로(228)(도 2)의 어레이를 통과하기 위한 공극(252)을 포함한다. 부(또는 접지) 회로(228)는 유사하게 배열되어 같은 방식으로 액추에이터(222)의 음극(232)과 접촉한다. 네트워크(246)는 인입 전기 신호를 변환기에 더 효율적으로 커플링하기 위해, 정 회로(226)의 어레이에 작동 가능하게 연결된다. 네트워크(246)는 바람직하게 수동 회로이다. 일부 구현예에 따라, 네트워크(246)는 인덕터성 수동 회로일 수 있다.

[0037] 도 5는, 일부 구현예에 따라 도 2 내지 도 4의 유체 불투과성 초음파 변환기(200)의 다른 측면의 사시도를 나타내며, 액추에이터(222)와 집속 렌즈(212)에 관심을 두고 있다. 변환기 헤드(204)와 후면 재료(224) 사이에 끼워져 있는 액추에이터(222)는, 정 회로(226)의 어레이와 전기적으로 접촉하고, 또한 케이싱(202) 내부에 있는 전도성 외부 링(220)을 통해 부(또는 접지) 회로(228)의 어레이와 전기적으로 접촉한다. 액추에이터(222)는 변환기 헤드 림(214)에 의해 정의된 부위 내에 집속 렌즈(212)와 동심축으로 정렬된다. 음극(232)은 액추에이터의 외부 가장자리 근처에서 액추에이터(222) 주위를 둘러싸는 반면에, 양극(230)은 도 6과 관련하여 더 상세히 나타낸 바와 같이, 액추에이터(222)의 내부와 연결된다.

[0038] 도 6은 일부 구현예에 따라 도 5의 사시도의 일부를 더 상세히 나타내며, 액추에이터(222), 양극(230), 및 음극(232)에 관심을 두고 있다. 양극 및 음극(230, 232)의 두께는 매우 작을 수 있고, 즉 마이크로미터 또는 나노미터의 정도일 수 있고, 따라서 도 6의 특징부는 실제 크기에 맞게 나타낸 것은 아니고, 도시 목적상 전극의 가시적인 두께를 갖는다. 전극(230, 232)은 300 nm 두께의 정도로 전도성 재료(예, 금, 은, 구리, 알루미늄 또는 유사한 재료)로 형성될 수 있다. 액추에이터(222)는, 압전 재료(예, 리튬 니오베이트, 바륨 티타네이트, 폴리비닐리덴 디플루오라이드, 납 지르코네이트 티타네이트 조성물, 징크 옥사이드, 알루미늄 나이트라이드, 또는 유사 재료)로 형성된 얇은 압전 디스크로 구성될 수 있다. 효율을 최대화하기 위한 액추에이터(222)의 두께는, 압전 디스크에서의 음속과 원하는 중심 진동 주파수에 의해 결정되는 바와 같이, 음향 파장의 1/2에 가까워지도록 선택되지만, 다양한 구현예에서 두께는 1/2 파장의 임의의 적절한 홀수 배에 근접할 수 있다. 100 MHz 초과 주파수를 원하는 경우, 최적의 두께는 10 마이크로미터 미만일 수 있다. 1 MHz 미만의 주파수를 원하는 경우, 두께는 1 mm 초과일 수 있다. 약 10 MHz의 경우, 최적의 두께는 전형적인 압전 디스크 재료의 경우에 수백 마이크로미터의 범위 내에 있다. 일부 특정 구현예에서, 예를 들어 12 MHz 정도의 설계 중심 주파수에 대해, 최적의 두께는 바람직하게는 약 275 μm 이다(또는 275 μm 의 홀수 배). 양극 및 음극(230, 232)은 서로 전기적으로 절연되고, 음극(232)은 액추에이터(222)의 원주 주위를 둘러싸고, 양극(230)은 그 원주 내의 공간을 점유한다. 액추에이터와 케이싱(202) 사이에서 액추에이터(222)의 주변부 주위에 위치하는 간극 또는 갭(250)이 있을 수 있고, 전도성 외부 링(220)과 후면 재료(224)는 또한 전도성 링 간극(248)에 의해 서로로부터 전기적으로 격리될 수 있다. 두 간극(250, 248)은 예폭시 수지와 같은 전기 절연 재료로 충전될 수 있다.

[0039] 변환기의 다양하게 다른 구현예는, 도 1 내지 도 6을 참조하여 전술한 바와 같은 변환기(200)의 것과 유사한 특징부를 포함할 수 있고, 케이싱과 변환기 헤드 면 구성 요소의 대안적인 어셈블리를 갖는다. 가능한 경우, 유사한 기능을 갖는 다양한 변환기의 구성 요소를 설명하기 위해 본원 전체에서 동일한 번호가 사용된다. 구체적으로 반대 표시하지 않는다면, 하나의 변환기 어셈블리의 구성 요소는 본 개시의 사상으로부터 벗어나지 않는 한, 본원에 개시된 다른 변환기 어셈블리의 구성 요소와 조합될 수 있음을 이해할 것이다.

[0040] 도 7은 본 개시의 일부 구현예에 따른 제2 유체 불투과성 초음파 변환기(300)의 측면도를 나타낸다. 변환기(300)는, 도 2 내지 도 6의 변환기(200)에 대하여 전술한 것과 유사한 외부 특징부를 갖는 케이스(302), 및 변환기를 신호 공급원과 작동 가능하게 연결하기 위한 인터페이스(308)를 포함한다. 변환기(300)는, 변환기 헤드(304)의 주변부 주위에서 케이싱(302) 상에 위치하고 개구 렌즈(312)를 둘러싸는 감쇠 층(350)을 추가로 포함한다(도 8). 다양한 구현예에서, 감쇠 층(350)은 생략될 수 있음을 유의한다. 케이싱(202)과 변환기 헤드(204)가 결합된 도 2 내지 도 6의 변환기(200)와 대조적으로, 변환기(300)는, 케이싱(300)의 일체형 부분인 변환기 헤드(304)에 의해 불침수성이다.

[0041] 도 8은, 구현예에 따라 도 7의 유체 불투과성 초음파 변환기(300)의 측면도를 개략적으로 나타낸다. 도 2 내지 도 6의 변환기(200)와 유사하게, 변환기(300)는 변환기 헤드(304)와 지지 재료(324) 사이에 위치한 액추에이터

(322)를 포함하며, 이는 전술한 지지 재료(224)와 변환기 헤드(204)처럼 유사한 조성과 구성을 가질 수 있다. 케이싱(302)의 내부 공동(318)은, 예폭시 수지와 같은 절연 방수 충전재에 의해 충전될 수 있다. 액추에이터(322)는, 전술한 액추에이터(222) 및 신호 보드(236)와 유사한 방식으로 신호 보드(336)와 작동 가능하게 연결될 수 있다. 액추에이터(322)는 변환기 헤드(304)와 후면 층(324) 사이에 끼워지고, 액추에이터(322)에 전기적 연결을 제공하는 전도성 링(320)에 의해 둘러싸인다. 변환기(200 및 300)에 대해 나타낸 렌즈 형상(즉, 도 3에 나타낸 더 큰 개구 렌즈(212) 및 도 7에 나타낸 더 작은 개구 렌즈(312))은 이들 각각의 케이싱 유형(도 3에 나타낸 연결형 변환기 헤드/케이싱, 도 7에 나타낸 일체형 변환기 헤드/케이싱)에 사용하도록 제한되지 않는다. 달리 명시적으로 언급되는 경우를 제외하고는, 설명된 각 변환기의 구조적 특징부는 상호 교환적으로 사용될 수 있다. 렌즈 형상, 및 렌즈와 결합된 변환기 전극의 크기는, 원하는 경우에 변환기의 음향 빔 크기를 제어하도록 조절될 수 있다.

[0042] 변환기(300)는, 도 2 내지 도 6을 참조하여 전술한 변환기 헤드(204)와 비교한 변환기 헤드(304)의 상이한 구성을 제공한다. 변환기 헤드(304)는, 액추에이터(322)보다 작은 직경을 갖는 집속 형상을 정의한 집속 렌즈(312)를 포함한다. 이 구성은, 집속 렌즈(212)가 액추에이터(222)보다 직경이 큰 변환기 헤드(204)(도 2 내지 도 6)와 대조된다. 집속 렌즈(312)의 더 작은 기하 구조는 변환기 헤드(304)의 재료에서 내부 음향 반사의 영향을 감소시키도록 작동하며 도 15 내지 도 18을 참조하여 나타낸 바와 같고 아래에서 논의된 바와 같다. 집속 렌즈(312)는 도 2 내지 도 6의 렌즈 표면(212)과 유사한 매칭 층으로 코팅된다. 매칭 층에 대한 세부 사항은 도 9 및 도 12 및 도 13을 참조하여 아래에서 논의된다. 감쇠 층(350) 또는 외부 흡수 층은, 이것이 없다면 더 큰 변환기 헤드 림(314)으로부터 기원할 수 있는 비집속 진동을 감소시키거나 제거하기 위해, 집속 렌즈(312)를 둘러싸고 있다.

[0043] 감쇠 층(350)은 변환기 헤드(304) 상에, 구체적으로 변환기 헤드 림(314) 상에, 변환기 말단 면(312)의 주변부에 인접하여 그 주위에 위치한다. 감쇠 층(350)은 변환기 헤드 림(314)으로부터의 비집속 또는 반사 진동의 우발적인 전달을 방지하도록 구성된다. 감쇠 층(350)의 중앙 공극(352)은, 진동이 집속 렌즈(312)로부터 방해받지 않고 집속 방식으로 감쇠 층을 지나가도록 한다. 중앙 공극 직경(354)은 바람직하게는 변환기 말단 면(312)과 동일한 크기이다. 감쇠 층(350)의 폭(358)은 바람직하게는 액추에이터(222)보다 넓어서, 비집속 또는 반사 진동이 액추에이터로부터 변환기 헤드 림(314)으로부터 거의 또는 전혀 지나가지 않도록 한다. 일부 구현예에서, 감쇠 층(350)은 케이싱(302)의 가장자리까지 멀리 연장될 수 있다. 감쇠 층(350)의 깊이(356)는, 변환기 헤드 림(314)으로부터 실질적으로 전달 가능한 모든 진동을 흡수하기에 적절한 감쇠를 제공하면 충분하다. 일부 구현예에서, 감쇠 층(350)은 감쇠 층을 통과하는 음향 에너지의 적어도 90%를 흡수하기에 충분한(즉, 음향 에너지를 10dB 감소) 두께이면 충분하다(즉, 최소 두께를 갖음). 특정 구현예에서, 감쇠 층(350)의 깊이(356)는 약 0.5 mm 내지 5 mm 범위일 수 있다. 액추에이터(322)로부터 감쇠 층(350)의 말단까지의 총 깊이(360)는 약 0.6 mm 내지 약 10 mm의 범위일 수 있다. 그러나, 흡수 층의 두께는 바람직하게는 적어도 10dB를 감쇠하는 가장 작은 두께로 선택된다.

[0044] 도 9는, 도 7 및 도 8의 유체 불투과성 초음파 변환기(300)의 측면도를 개략적으로 나타내며, 액추에이터와 집속 렌즈에 관심을 두고 있다. 나타낸 바와 같이, 케이스(302)는 변환기 헤드(304)에서 종료되고, 이는 변환기 말단 림(314)을 정의한 주변부와 집속 렌즈(312)를 정의한 중앙부를 포함한다. 감쇠 층(350)은 헤드 면(312)에 인접한 변환기 헤드 림(314) 상에 위치한다. 감쇠 층(350)의 폭(358)은 변환기 헤드 림(314)의 폭(360)의 대부분을 차지한다. 변환기 케이스(302) 내부에서, 공동(318)은 액추에이터(322)를 포함하며, 이 액추에이터는 변환기 헤드(304)에 대해 가압되고, 변환기 헤드와 후면 층(324) 사이에 끼워져 있다. 음극 또는 접지 전극(332)은 변환기 헤드(304)에 인접한 액추에이터(322) 상에 위치하고, 전도성 링(320)을 이용해 액추에이터(322)의 림 주위에 연결된다. 양극 리드는 전도성 링(320)에 인접하여 라우팅되어, 액추에이터(322)와 후면 층(324) 사이에 위치한 양극(330)과 접촉한다. 매칭 층(370)은 헤드 면으로부터 음향 전달을 개선하기 위해 헤드 면(312) 상에 위치한다. 매칭 층(370)은 도 12 및 도 13을 참조하여 더욱 상세히 논의된다.

[0045] 일부 대안적인 구현예에 따라, 도 2 내지 도 9를 참조하여 전술한 변환기 중 하나 이상과 조합하여 추가 변환기 요소를 제공할 수 있다. 예를 들어, 도 10은 본 개시의 일부 구현예에 따라, 이차 변환기 요소(462)를 갖는 제3 유체 불투과성 초음파 변환기(400)의 측면도를 나타낸다. 변환기(400)는, 전술한 변환기(200, 300)의 케이스(202, 302)와 유사한 특징부를 갖는 케이스(402)를 포함하고, 변환기를 신호 공급원에 작동 가능하게 연결하기 위한 인터페이스(408)를 갖는다. 변환기(400)는, 케이싱(402) 상에 위치한 이중 목적의 후면 및 감쇠 층(450), 및 상기 후면/감쇠 층 상에 위치한 이차 변환기 요소(462)를 추가로 포함한다.

[0046] 도 11은 도 10의 유체 불투과성 초음파 변환기(400)의 측면 부분 개략도를 나타내며, 도 7 내지 도 9에 나타낸

변환기(300)의 것과 유사한 변환기의 특징부와 구성 요소를 나타내고, 여기서 유사한 부분은 유사한 번호가 매겨진다. 특히, 자신의 작동 및 집속 수단(미도시)을 포함할 수 있는 이차 변환기 요소(462)는, 변환기 헤드(404)와 연결된 후면/감쇠 층(450)과 연결되어, 후면/감쇠 층이 이차 변환기 요소의 후면 층 및 일차 액추에이터(422)에 의해 방출되는 음향 에너지를 위한 감쇠 층으로서 모두 작용하도록 한다. 이차 변환기 요소(462)는 변환기(400)의 일차 집속 렌즈(412) 주위의 링에 배열될 수 있고, 일차 액추에이터(422)와 함께 또는 독립적으로 작동할 수 있고, 동일하거나 바람직하게는 상이한 범위의 음향 주파수로 작동할 수 있다. 본원에서 나타낸 바와 같은 일차 액추에이터(422) 및 헤드 면(412)은, 도 7 내지 도 9에 나타난 변환기(300)의 액추에이터(322) 및 헤드 면(312)과 유사하다. 일부 구현예에 따라, 이차 변환기 요소(462)는 감쇠 층(450)의 내부 직경(452)과 실질적으로 매칭되는 개방 내부 직경(464)을 갖는다. 지지/감쇠 층(450)의 두께(456)는 일차 액추에이터(422)에 의해 야기된 진동을 일차 변환기 헤드 림(414)을 통해 감쇠시킬 뿐만 아니라, 이차 변환기 요소(462)로부터 다시 통과하는 에코를 없앨 정도로 여기서 충분하다.

[0047] 전술한 바와 같은 변환기의 구현예는, 그 내부의 액추에이터에 제공된 전기 신호에 기초하여 음향파를 매질로 전파하기에 적합하다. 그러나, 구현예는, 액추에이터로부터 매질로 음향 에너지의 전달을 향상시키기 위한 추가 특징부를 포함할 수 있다. 주로 하나 이상의 매칭 층이, 에너지 전달을 개선하기 위해 집속 렌즈(예, 헤드 면(212, 312, 412)) 상에 사용될 수 있다.

[0048] 도 12는 본 개시의 일부 구현예에 따라, 매칭 층(들)(514)을 사용한 침지 변환기(500)의 작동 구성 요소의 단순 개략도를 나타낸다. 변환기(500)의 양태는, 도 2 내지 도 11을 참조하여 전술된 변환기(200, 300, 400) 각각의 특징부와 조합하여 사용될 수 있다.

[0049] 변환기(500)는 변환기 헤드 요소(510), 작동 요소(530), 후면 요소(540), 후면 공동(544), 및 전기 매칭 네트워크 또는 제어 요소(550)를 포함한다. 동작시 원하는 음향 출력을 정의할 수 있는 전기 신호는, 입력 회로(554)를 통해 전기적 매칭 네트워크 요소(550)를 통과한다. 이러한 전기적 매칭 네트워크 요소(550)는 입력 신호(예, 구동 신호)를 변환기 작동 요소(530)와 같은 전기 부하에 효율적으로 연결시키기 위해, 전기 신호를 필터링, 감쇠, 증폭, 또는 그렇지 않으면 전기 신호를 수정하는 적절한 전자 부품을 포함할 수 있다. 일부 구현예에 따라, 매칭 네트워크 요소(550)는, 입력 신호를 조절하기 위한 유도성 하이-패스 회로(552) 또는 다른 적절한 필터링 회로를 포함할 수 있다. 동작시, 매칭 네트워크 요소(550)는 단순한 하이-패스 필터를 포함할 수 있고, 이는 저-주파수 현상을 막기 위해 저-주파수 신호를 필터링하면서 고주파 전기 신호(음향 신호에 대응하는 고주파 구동 신호와 같음)를 상당한 감쇠 없이 통과시킬 수 있다. 다양한 다른 구현예에 따라, 제어 요소(550)는, 입력 회로(554)로부터의 신호를 감쇠하기 위한 임의의 적절한 필터 또는 필터 조합을 포함할 수 있다.

[0050] 제어 요소(550)는 배선(538)을 통해 작동 요소(530)와 작동 가능하게 연결된다. 작동 요소(530)는 액추에이터(536)를 포함하고, 이는 압전 디스크 또는 유사 액추에이터일 수 있다. 액추에이터(536)는, (배선(538)과 연결되는 것으로 여기에 나타낸) 양극(534) 및 (여기에 나타내지 않은 접지 또는 부 회로에 연결된) 음극 또는 접지 전극(532)에 대항하는 측면 상에 연결된다. 액추에이터(536)는, 구동 신호의 주파수에 따라 물리적 진동을 생성함으로써 구동 신호에 응답한다. 작동 요소(530)는, 변환기 헤드 요소(510)에 의한 한 측면과 후면 공동(544) 내의 후면 요소(540)에 의한 대향 측면으로 경계가 정해진다. 후면 요소(540)는, 작동 요소(530)와 접촉하는 동안 그리고 작동 요소(530)를 변환기 헤드 요소(510)를 향해 편향시키는 동안에 진동을 흡수하기에 적합한 조성 및/또는 미세 구조를 갖는, 후면 재료(542)로 구성된다. 후면 공동(544)은 개방될 수 있거나, 수분 또는 다른 외부 오염물로부터 액추에이터 요소(530)를 절연하기 위한 절연 및/또는 방수 재료로 충전될 수 있다.

[0051] 변환기 헤드 요소(510)는 매질(502)과 대면하고, 여기로 음향 에너지를 유도하도록 변환기(500)를 구성한다. 변환기 헤드 요소(510)는, 변환기 헤드(512) 몸체, 집속 렌즈(518), 및 액추에이터 요소(530)에 인접하게 위치한 변환기 헤드 후면(520)을 포함한다. 집속 렌즈(518)는 변환기 헤드 몸체(512)의 표면(516) 상에 위치한 매칭 층(514)으로 구성된다. 변환기 헤드 몸체(512)는 바람직하게는 강성, 경량, 및 비다공성 재료로 구성되고, 물을 흡수하지 않는다. 예를 들어, 일부 구현예에 따라, 변환기 헤드 몸체(512)는 바람직하게는 내부식성이 있는 금속 또는 금속 합금일 수 있다. 다양한 구현예에서, 변환기 헤드용 재료는 다음을 포함할 수 있으나 이에 제한되지 않는다: 알루미늄(Al), 베릴륨(Be), 카드뮴(Cd), 탄소(C), 크롬(Cr), 구리(Cu), 게르마늄(Ge), 금(Au), 철(Fe), 납(Pb), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 니켈(Ni), 니오븀(Nb), 인(P), 백금(Pt), 셀레늄(Se), 실리콘(Si), 은(Ag), 주석(Sn), 티타늄(Ti), 텅스텐(W), 바나듐(V), 아연(Zn), 또는 지르코늄(Zr) 및 전술한 재료 중 임의의 두 가지 이상의 합금 또는 복합체, 일부 비금속 또는 비반금속 성분을 또한 포함하는 스테인리스 강과 같은 복합 합금을 포함한다. 적절한 비금속 또는 비반금속 성분은, 예를 들어 실리콘, 유리, 석영, 또는 다양한 세라믹을 포함할 수 있다. 변환기 헤드는 바람직하게는 내부식성 및 액체 불투과성, 특히 유체 불투과성이어서, 변환

기 헤드 표면 및 케이싱이 액체를 배제할 뿐만 아니라 장기간 동안 액체에 노출되는 경우 형상의 저하 또는 변화에 견딘다. 일부 구현예에서, 변환기 헤드 재료는 물과 같은 유체 커플런트에 완전히 불활성으로, 장기간 침투 깊이가 영(zero)이고 부식성으로 인한 중량 손실이 영(zero)일 수 있다. 변환기 헤드 몸체(512)는, 변환기(500)의 내부 구성 요소 주위를 감싸는 케이싱과 일체로 연결될 수 있거나 이를 포함할 수 있다. 완전히 불활성인 재료의 경우, 침투 깊이와 중량 손실이 영(zero)인 것으로 가정될 수 있다(또는 침투/손실이 측정되지 않을 수 있음). 최소 반응성 재료의 경우, 허용 가능한 침투 깊이 및 중량 손실은, 변환기의 목표 수명 및 그 수명에 대한 렌즈 초점 특성의 수용 가능한 변화에 의존한다. 일부 구현예에서, 재료 중량 손실의 허용 가능한 최대 값은 일년에 0.1% 이하의 정도이다.

[0052] 매칭 층(514)은 음향 임피던스, 즉 기계적 임피던스를 갖는 재료로 구성되며, 이 값은 변환기 헤드 몸체(512)와 매질(502)의 임피던스 사이에 있다. 이러한 매칭 층(514)은, 특히 변환기 헤드 몸체(512)가 높은 임피던스를 갖는 재료로 구성되는 경우, 매질(502)로 음향 에너지의 전달을 상당히 향상시킬 수 있다. 바람직한 부식 특성을 갖는 유체 불투과성 금속 및 금속 합금은, 광범위한 음향 임피던스를 다루고 일반적으로 10 내지 100 MRayl의 값을 갖는다. 바람직하게는, 변환기 헤드 및 케이싱 재료는 액추에이터(536)의 선택된 압전 재료의 음향 임피던스와 가능한 한 가깝게 매칭하도록 선택되어야 한다. 통상적인 압전 재료의 경우, 이는 대략 15 내지 43 MRayl 범위의 음향 임피던스를 갖는 세라믹이며, 10 내지 100 MRayl의 낮은 범위에서 음향 임피던스를 갖는 유체 불투과성 금속 또는 금속 합금이 음향 에너지 전달 효율을 촉진하기 위해 바람직하다. 예를 들어, 변환기 헤드 몸체(512)가 바나듐으로 구성되는 특정 구현예에서, 변환기 헤드 몸체의 예상 음향 임피던스는 대략 36.2 MRayl이다.

[0053] 음향 매칭 층(514)은, 변환기 헤드 몸체(512)로부터 물, 젤, 또는 다른 수용액과 같은 전형적 커플런트인 매질(502)로의 음향 에너지 전달을 촉진하도록 선택된다. 예를 들어, 물의 음향 임피던스는 약 1.5 MRayl이다. 음향 에너지 전달 손실은 단차형 음향 임피던스를 가로질러 하나의 매질로부터 또 다른 매질로 직접 전파되는 경우 발생하고, 다음의 식 1에 따라 단일 중간 층에 의해 달성되는 최적의 커플링이 달성되며, 여기서 Z_m 은 중간 층 임피던스이고, Z_i 및 Z_c 는 각각 변환기 헤드 몸체(512) 및 매질(502)의 임피던스이다.

[0054]
$$Z_m = \sqrt{Z_i Z_c}$$

[0055] 식(1)

[0056] 구현예에 따라, 매칭 층(514)은 변환기 헤드 몸체(512)와 매질(502) 사이의 음향 에너지 전달을 최대화하도록 선택된 재료로 구성되며, 이는 또한 변환기 헤드 몸체의 표면(516)과의 영구적 접합이 쉽고, 매질에 의한 침입이나 열화에 대하여 회복 탄력성이 있다. 변환기 헤드 몸체(512)가 약 36.2 MRayl의 음향 임피던스를 갖는 바나듐이고, 매질이 약 1.5 MRayl의 음향 임피던스를 갖는 물 또는 유사 수용액인 특정 구현예에 따르면, 단일 중간 층에 대한 최적의 음향 임피던스는 대략 7.3 MRayl이다. 다양한 구현예에 따라, 매칭 층(514)은 7.3 MRayl 정도의 음향 임피던스를 갖는 재료로 구성된다. 일부 특정 구현예에 따라, 매칭 층(514)은 폴리비닐리덴 디플루오라이드(PVDF) 같은 플루오로폴리머, 또는 약 4 내지 10 MRayl 또는 일부 경우에 약 4 내지 5 MRayl의 음향 임피던스를 갖는 유사한 폴리머 코팅으로 구성된다. 일부 다른 구현예에 따라, 매칭 층(514)은 약 6 내지 8 MRayl의 음향 임피던스를 갖는 그래파이트 코팅으로 구성될 수 있다. 다양한 구현예에 따라, 매칭 층(514)은 약 5 내지 10 MRayl, 약 4 내지 10 MRayl, 또는 약 6 내지 8 MRayl 범위의 음향 임피던스를 갖는다. 일부 특정 구현예에서, 매칭 층(514)은 약 4 MRayl의 임피던스를 갖는다. 다양한 구현예에 따라, 매칭 층은 다음 중 임의의 것으로 구성될 수 있다: PVDF, 그래파이트, 비정질 탄소, 또는 폴리머/미립자 복합물은 폴리머 매트릭스(예, 에폭시 또는 유사 재료) 및 알루미늄, 텅스텐, 유리 또는 다른 유사한 미립자 재료를 포함하나 이에 제한되지 않는다.

[0057] 일부 구현예에서, 집속 렌즈 몸체(512)와 매질(502) 사이의 음향 에너지 전달의 효율은 매칭 층(514)의 두께를 조정함으로써 개선된다. 매칭 층(514)은 바람직하게는 분무 코팅, 스핀 코팅, 스퍼터링, 확산 접합 등과 같은 코팅 기술을 사용하여 적용되고, 이어서 전체가 일관된 두께로 된다. 매칭 층(514)의 두께는, 예를 들어 기계 가공, 가압, 스피닝, 또는 상기 또는 유사한 공정의 임의의 적절한 조합에 의해 조절될 수 있다. 바람직하게는, 매칭 층(514)의 두께는, 변환기(500)가 중간 층의 선택된 재료를 통해 음속에서 사용되도록 의도된 목표 주파수에 대응하는 1/4 파장에 매칭하도록 조절된다. 대안적으로, 매칭 층(514)은 3/4 파장, 또는 1/4 파장의 임의의 다른 홀수 배와 대략 동일한 두께를 가질 수 있어서, 반사 또는 상쇄 간섭이 최소화된다. 예를 들어, 약 12 MHz의 목표 주파수(또는 공칭 주파수)를 갖는 초음파 변환기에 대해, 적절한 매칭 층(514)은 약 60 μm (그래파이트

에 대한 예시)의 두께를 가질 수 있다. 주어진 중간 층의 경우, 변환기는, 목표 주파수에 대응하는 공칭 파장 값의 약 -25%로부터 공칭 파장의 약 +25%까지 변화하는 파장에서 집속된 음향 에너지를 발생시킬 수 있다. 따라서, 일부 구현예에 따라, 12 MHz로 조정된 두께를 갖는 단일 중간 층을 갖는 변환기는, 높은 효율(전형적으로는 10% 내지 20% 정도)로 약 9 MHz 내지 약 15 MHz 범위의 신호를 수용할 수 있고, 보다 낮은 효율로 그 범위 밖에서 사용될 수 있다. 예를 들어, 유체 불투과성 변환기는 2 내지 15 MHz 범위의 공칭 주파수를 또한 가질 수 있다. 다양한 구현예에 따라, 매칭 층(514)은 약 30 내지 80 μm 의 두께로 변할 수 있다. 일부 구현예에서, 매칭 층(514) 두께는 공칭 두께에서 약 14% 이하 정도까지 변할 수 있다. 그러나, 하나 이상의 중간 층을 사용하여 재료 선택성, 효율성 및 목표 주파수에서의 추가 유연성을 얻을 수 있다. 다양한 대안적인 구현예에서, 매칭 층 두께는 목표 주파수의 1/4 파장에 대응하는 공칭 값의 홀수 배와 대략 동일할 수 있다.

[0058] 도 13은 본 개시의 일부 구현예에 따라, 다중 매칭 층(614, 620)을 사용한 침지 변환기(600)의 작동 구성 요소의 단순 개략도를 나타낸다. 나타낸 바와 같이, 변환기(600)는 도 12를 참조하여 전술한 변환기(500)의 것과 유사한 특징부를 갖고, 유사한 부분은 유사한 번호가 매겨져 있다. 17 내지 42 Mrayl의 음향 임피던스를 갖는 유체 불투과성 금속 또는 금속 합금으로 형성된 변환기 헤드 몸체(612), 및 약 1.5 Mrayl의 음향 임피던스를 갖는 물 또는 임의의 유사한 수용액 물질의 매질(602)의 경우에 있어서, 단일 중간 층에 대한 최적의 음향 임피던스는 대략 5 내지 8 Mrayl일 것이다. 그러나, 음향 에너지는 변환기 헤드 몸체(612)로부터 매질(602)로 제1 음향 임피던스를 갖는 제1 중간 층(614)을 통해, 이어서 제2 음향 임피던스를 갖는 제2 중간 층(620)을 통해 전달될 수 있고, 여기서 제1 중간 층은 제2 중간 층보다 높은 음향 임피던스를 갖고, 제1 및 제2 중간 층은 서로에 대해 최적화된 음향 에너지에 대해 식(1)을 만족한다. 예를 들어, 제1 중간 층(614)의 음향 임피던스(즉, Z_{m1})는 Z_i 와 제2 중간 층(620)의 음향 임피던스(즉, Z_{m2}) 사이에 떨어져서 하기 식(2)의 연합식을 만족하도록 한다. 조립시, 음향 에너지는 변환기 헤드 몸체(612)로부터 제1 중간층(614)을 통해, 그리고 제1 중간 층 인터페이스(618)로부터 제2 중간 층(620)으로 전달된다. 이어서, 음향 에너지는 제2 중간 층(620)을 통해 그리고 집속 렌즈(622) 밖으로 매질(602)에 전달된다. 각각의 개별 중간 층(614, 620)은 단일 중간 층(514)을 참조하여 전술된 바와 같이, 각각의 개별 중간 층의 선택된 재료를 통해 변환기(600)의 공칭 주파수의 1/4 파장에 대응하는 각각의 두께로 형성된다(도 5).

$$Z_{m1} = \sqrt{Z_i Z_{m2}}$$

$$Z_{m2} = \sqrt{Z_{m1} Z_c}$$

[0059]

[0060] 식(2)

[0061] 도 14는 본 개시의 일부 구현예에 따라, 회절 집속 렌즈(714)를 사용한 침지 변환기(700)의 작동 구성 요소의 단순 개략도를 나타낸다. 나타낸 바와 같이, 변환기(700)는 도 12 및 도 13을 참조하여 전술한 변환기(500, 600)의 것과 유사한 특징부를 갖고, 유사한 부분은 유사한 번호가 매겨져 있다. 변환기 헤드 요소(710)는, 변환기 헤드 후면(716)에 대향하는 회절 헤드 면(714)을 정의한 변환기 헤드 몸체(712)를 포함하는 점에서, 지금까지의 전술한 변환기 헤드 요소(510, 610)와 상이하다. 회절 헤드 면(714)은, 구현예에 따라 음향 에너지를 소정의 초점 길이로 유도하도록 작동 가능한 회절 에설렛 격자 세트를 포함한다.

[0062] 전술한 바와 같이, 집속 렌즈(예, 헤드 면(212, 312, 412), 도 3, 8 및 11)는 변환기로부터의 집속 렌즈에서 원위인 초점을 향해 액추에이터(예, 액추에이터(222, 322, 422))로부터의 음향 에너지를 수용 및 재유도하도록 크기가 정해진다. 그러나, 집속 렌즈는 액추에이터와 대략 동일한 크기(직경)이거나, 이보다 작거나, 또는 클 수 있다. 음향 헤드 면이 액추에이터보다 작거나 큰 지 여부에 따라 약간 상이한 메커니즘이 적용된다. 이러한 메커니즘은, 변환기가 방출기 및 수신기로서 둘 다 사용되는 경우에 보다 직접적으로 관찰 가능하다. 변환기의 액추에이터는, 변환기에 에코로 다시 방출되고 반사되는 음향 에너지를 감지하는 것뿐만 아니라 변환기의 구성 요소 내에서 반사되는 음향 에너지를 감지하기 위해, 사용될 수 있다. 이러한 감지 응용 예에 대한 변환기 헤드 기하 구조의 효과는 도 15 내지 도 20을 참조하여 이하에서 논의된다.

[0063] 도 15는 일부 구현예에 따라, 만곡형 집속 렌즈(806) 및 액추에이터(804)를 갖는 변환기 헤드(802)의 어셈블리(800)의 단순화된 개략 측면도를 나타낸다. 변환기 헤드(802)는 일부 구현예에 따라 연관된 액추에이터(804)의 직경(814)보다 더 큰 집속 렌즈(806)의 비교적 큰 집속 부위(816)를 정의한다. 도 15의 배열은 집속 렌즈(212)(도 3)에 대해 상기 도시한 것과 유사하다. 본원에 나타낸 집속 렌즈(806)는 변환기 헤드(802)의 오목한 만곡형 표면이고, 이는 집속 부위(816)를 정의한다. 액추에이터(814)는 변환기 헤드(802) 뒤에 위치하여 음파를 변환기

헤드 전방으로 전달한다. 음향 에너지(808)의 제1 부분 집합이 변환기 헤드(802)를 통해 직접 전달되고 낮은 각도에서 집속 렌즈(806)로부터 방출되어, 음향 에너지가 수렴된다. 그러나, 제1 부분 집합보다 더 기울기가 큰 각도를 만나는 음향 에너지(810)의 제2 부분 집합은 집속 렌즈(806)로부터 방출되기 전에 변환기 헤드(802)의 재료에 반사될 수 있다(812). 반사(812)는 일부 잡음을 액추에이터로 다시 반사시킬 수 있고, 일부 경우에 이는 동일한 응용 분야에서 방출기와 센서 모두에 변환기를 사용하는 것에 영향을 줄 수 있고, 이 잡음은 센서로 사용되는 경우에 변환기에 영향을 미치는 시간 동안 충분히 지연될 수 있다. 참조로, 웰의 상부 표면(822)과 플레이트의 하부 표면(824)을 포함한 샘플 마이크로 플레이트(820)의 위치를 나타낸다. 정확한 위치는 웰 내의 유체의 높이와 웰 크기에 따라 변할 수 있고, 어셈블리(800)는 많은 유형과 크기의 샘플 마이크로 플레이트를 수용할 수 있다. 음향 반사는 재료 경계면에서, 예를 들어 마이크로플레이트(820)의 상부 또는 하부 표면(822, 824)에, 그리고 유체/공기 경계면(826)에서 발생할 수 있다. 예를 들어, 웰 내의 유체의 높이를 검출하는 감지 분야에 있어서, 유체/공기 경계면(826)이 변환기 헤드(802)의 초점 평면에 가까울 필요는 없다. 액적 분출 응용 분야에 있어서, 변환기 헤드(802) 또는 마이크로 플레이트(820)는 유체/공기 경계면(826) 근처에 초점 평면을 배치하기 위해 이동될 것이다.

[0064] 도 16은, 도 15에 나타난 만곡형 집속 렌즈(806)와 유사한 만곡형 집속 렌즈에 의해 야기되는 에코 신호 데이터(900)를 그래프로 나타낸다. 에코 신호 데이터(900)는, 제1 신호(902)(플레이트의 상이한 부분, 예를 들어 상부 표면 및 하부 표면(822, 824)으로부터의 음향 반사에 의해 초래되는 두 개의 에코에 해당하고, 변환기 헤드 내에서 음향 에너지의 반사 및/또는 재설정에 의해 초래되는 테일링 또는 링잉을 포함할 수 있음); 및 제2 신호(904)(즉 유체/공기 경계면(826)로부터 에코를 수신하고 매질을 음향 탐침하는 변환기에 대응함)를 포함한다. 제1 신호(902)에서 발생하는 두 개의 에코는 약 20 내지 30 μ s 및 30.5 내지 32 μ s에서 볼 수 있다. 제1 신호(902) 및 제2 신호(904) 둘 모두는 백그라운드와는 구별되며, 따라서 잡음은 쉽게 식별되고 무시될 수 있다. 그러나, 변환기가 다수의 짧은 음향 신호를 수신한다면, 다수의 에코 신호를 서로 구별하거나 백그라운드 잡음으로부터 구별하는 것은 도전 과제일 수 있다. 변환기 헤드(802) 내의 반사에 의해 야기되는 링잉 효과 및 "이중 에코" 효과는, 불침수성 금속 또는 금속 합금과 같이 강성, 비다공성 재료의 사용에 의해 악화된다.

[0065] 진술한 바와 같이, 렌즈 재료에 적절한 음향/기계적 특성은 일반적으로 10 내지 30 MRayl 범위의 음향 임피던스, 비교적 높고 일관된 음속(예, 4 km/s 이상)뿐만 아니라 내부식성, 물 흡수성, 휨성 및 음향 흡수성을 포함한다. 이러한 재료에서 초래되는 음향 효과는 일반적으로 재현 가능하며, 소프트웨어에서 보정될 수 있다. 예를 들어, 음향 효과를 완화시키거나 보정하는 수단은, 종래의 오디오 응용 분야에서 사용되는 바와 같이 에코 제거 소프트웨어를 포함할 수 있고, 신호의 초기 피크에 따라 이차 반사를 감소시키도록 적용된다. 또한, 이러한 재료는, 일반적으로 NDT 응용의 종래 변환기에 사용되며 보다 연성이고 가형성인 재료보다도 더욱 효율적으로 음향 에너지를 전달하므로, 종래의 재료를 사용하는 시스템과 비교하는 경우에 음향 신호를 발생시키는 데 상당히 적은 에너지를 요구한다. 잡음 프로파일은, 액추에이터에 대해 집속 렌즈의 크기를 감소시킴으로써 신호에 비해 단축되고 감소될 수 있고, 음향 감쇠 재료를 변환기 헤드의 주변부에 추가함으로써 더욱 감소될 수 있음을 발견하였다.

[0066] 도 17은 일부 구현예에 따라, 만곡형 집속 렌즈(1006) 및 액추에이터(1004)를 갖는 변환기 헤드(1002)의 어셈블리(1000)의 단순화된 개략 측면도를 나타낸다. 어셈블리(1000)는, 집속 렌즈의 집속 부위(1012)를 둘러싸는 외부 흡수 층(1014)을 포함한다. 나타난 바와 같이, 집속 부위(1012)는 액추에이터(1010)의 직경보다 약간 크지만, 집속 렌즈(1006)의 범위는 도 15의 집속 렌즈(806)의 것에 비해 감소되어, 집속 렌즈의 오목성이 덜 두드러져서 음향 에너지(1008)가 헤드 면의 경계선과 만나는 각도를 감소시킨다. 이렇게 감소된 각도는, 변환기 헤드(1002) 내부에서 반사된 음향 에너지가 훨씬 적은 결과를 초래하며, 이에 따라 변환기가 음향 에너지를 방출하는 경우에 전체 잡음을 감소시킨다. 일부 구현예에서, 외부 흡수 층(1014)은 집속 렌즈(1006)의 외부에 있는 변환기 헤드(1002)에 추가될 수 있으며, 이는 집속 렌즈를 빠져 나가는 것 없이 변환기 헤드 내부에서 반사되는 이탈 음향 에너지를 흡수할 수 있다. 나타난 어셈블리(1000)의 배열은, 도 15의 어셈블리(800)와 비교하여 잡음과 신호를 모두 상당히 엄격히 할 수 있어, 잡음과 비교시 신호의 해상도를 증가시킨다. 일부 구현예에서, 액추에이터(1004)는 집속 렌즈(1006)의 집속 부위(1012)와 동일한 크기인 직경(1010), 또는 일부 경우에 집속 부위보다 약간 큰 직경을 가질 수 있다. 참조로, 웰의 상부 표면(822)과 플레이트의 하부 표면(824)을 포함한 샘플 마이크로 플레이트(820)의 위치가 다시 재현되어 있다. 정확한 위치는 웰 내의 유체의 높이와 웰 크기의 크기에 따라 변할 수 있고, 어셈블리(1000)는 많은 유형 및 크기의 샘플 마이크로 플레이트를 수용할 수 있다. 음향 반사는 재료 경계면에서, 예를 들어 마이크로플레이트(820)의 상부 또는 하부 표면(822, 824)에서, 또는 마이크로 플레이트(820)의 웰 내의 유체 높이에 전형적으로 해당하는 유체/공기 경계면(826)에서 발생할 수 있

다.

[0067] 도 18은, 도 16에 나타난 에코 신호 데이터(900)와 비교하기 위해, 도 17에 나타난 어셈블리(1000)와 유사한 어셈블리에 의해 초래된 에코 신호 데이터(1100)의 그래프를 나타낸다. 신호(1102)는 웰 플레이트의 하부와 상부로부터 반사되는 두 개의 펄스로 구성되며, 신호(1104)는 유체 표면으로부터, 즉 웰 내의 유체/공기 경계면(826)으로부터의 반사에 기인한다. 이 신호는 도 16의 신호(902)와 비교될 수 있다. 특히, 도 18에 나타난 바와 같은 제1 신호(1102)는, 도 16에 나타난 해당 제1 신호(902)보다 더 좁고 서로 더 명확하게 분리된다. 또한, 에코 신호 데이터(1100)는, 특히 각각의 초기 에코 신호(1102, 902) 후에, 에코 데이터 신호(900)보다 백그라운드 잡음을 덜 갖는다. 이러한 명확성의 증가 및 백그라운드 잡음의 감소는, 변환기 헤드 어셈블리(1000)(도 17)의 특징부가 어떻게 에코를 감소시키고 해상도를 개선하는지 보여 준다. 일반적으로, 집속 부위(예, 도 15 및 도 17에 나타난 집속 부위(816, 1012))의 크기를 감소시키면, 신호를 감소시키면서 또한 동일한 속도는 아니지만 상기 신호와 연관된 잡음 또는 링잉을 감소시킨다. 따라서, 변환기의 집속 부위 크기는, 에코 신호의 해상도를 최적화하도록 조정될 수 있고, 잡음 이벤트가 표면 반사로서 오분류될 가능성을 감소시킬 수 있다.

[0068] 도 19는 다양한 구현예에 따라, 다양한 개구 크기를 갖는 변환기에 대한 에코 신호 데이터(1200)를 그래프로 나타낸다. 변환기 에코 신호 데이터(1202, 1204, 1206, 1208, 1210)는 동일한 차트에 함께 재현되어, 각 변환기의 신호 생성 영역 또는 개구의 각각의 크기와 연관된 에코 신호 데이터의 변화를 나타낸다. 각각의 변환기에 대해서, 제1 신호(1220)는 변환기 내의 음향 에너지의 반사에 대응하고, 여기서 웰 플레이트의 하부로부터의 에코를 보여주고, 제2 신호(1222)는 목표로부터 음향 에너지의 반사에 의해 야기되는 신호에 대응하고, 이 경우 웰 내의 유체의 자유 표면이다. 개구 크기가 (예를 들어, 변환기 데이터(1202)의 직경 17.5 mm에서 변환기 데이터(2110)의 직경 10 mm로) 감소함에 따라, 두 신호의 진폭의 감소가 제1 신호(1220)와 연관된 링잉 감소와 함께 관찰된다. 따라서, 변환기의 의도된 응용 분야(즉, 오직 고 전력 신호의 생성부터 신호 검출까지)에 따라서, 잡음 및/또는 링잉을 완화하면서 적절한 전력을 제공하는 개구 크기를 선택할 수 있다. 유사하게, 개구 크기는 도 20을 참조하여 나타난 바와 같이, 초점에서 음향 신호의 빔 크기에 영향을 미친다.

[0069] 도 20은 다양한 구현예에 따라, 다양한 개구 크기를 갖는 변환기(1202, 1204, 1206, 1208, 1210)(도 19)와 연관된, 빔 크기 데이터(1300)를 그래프로 나타낸다. Y 축은 음향 빔 경로의 중심 축으로부터 일정 거리에 있는 음향 신호의 진폭을 나타내고, 이는 변환기의 초점 거리에서 취해지고 초점에서 음향 신호의 진폭에 대하여 정규화된다. 더 넓은 곡선은 더 많은 비집속 빔을 나타내며, 더 좁은 곡선은 보다 많은 집속 빔을 나타낸다. 나타난 바와 같이, 개구 크기(1202~1210)(도 19)가 작아질수록, 비집속 곡선(1302~1310) 폭이 증가한다. 따라서, 증가된 개구 크기는 향상된 초점을 생성하나 신호 명확성에 대해 반비례한다. 그러나, 초점 개구 크기를 증가시키면 음향 빔의 초점 향상의 복귀 감소를 나타내고, 이는 비집속 곡선(1306~1310) 사이에서의 차이점과 비교하면 비집속 곡선(1302~1306) 사이에서 비교적 작은 차이로 나타난다.

[0070] 큰 전력 취급 용량을 필요로 하는 응용 분야에서, 전력은 개구 영역을 따라 대략 비례하기 때문에 일반적으로 큰 개구 영역을 갖는 것이 바람직하다. 따라서, 주어진 목표 F-수 또는 목표 빔 각도에 대해, 전력 취급시 원하는 증가를 수용하기 위해 초점 길이와 개구 크기를 증가시킬 수 있다. 그러나, 이러한 치수 증가로 인해 초점 길이가 더 커질수록, 매질 내의 음향 빔 경로의 길이를 증가시키고 따라서 감쇠를 증가시킨다. 따라서, 개구 크기는 의도된 응용 분야에 따라 선택되어, 초점에 대한 필요성과 잡음 또는 링잉을 완화시킬 필요성의 균형을 맞춘다. 일부 구현예에 따라, 개구 크기는 약 10 mm 내지 약 17.5 mm의 범위일 수 있다. 일부 특정 구현예에 따라, 개구 크기는 약 10 mm 내지 약 13 mm의 범위일 수 있거나 약 11.5 mm일 수 있다. 고전력 응용 분야를 위해 적절한 F-수는 변할 수 있지만, 특정 구현예에서 약 0.8 내지 4, 또는 바람직하게는 약 1.5 내지 3, 또는 약 2 내지 2.5의 범위일 수 있다.

[0071] 전술한 바와 같이, 렌즈 개구 직경을 조절하는 단계는 초점과 링잉 수준에서의 빔 크기에 영향을 미칠 수 있다. 그러나, 액추에이터와 연결된 전극의 크기나 직경을 조절함으로써 이들 파라미터를 대안적으로 또는 바람직하게 조정할 수 있다. 다시 도 3을 참조하면, 예를 들어 액추에이터(222)는 압전 디스크이며, 양극(226)은 내부 공동(218)을 향해 디스크의 중심 전체에 대해 배치되고, 음극(228)은 액추에이터의 주변부 주위에 동굴게 배치된다. 이러한 구현예에서, 양극(226)의 크기를 조절하는 단계는, 특히 액추에이터의 음향 전력 발생 구역의 면적을 제어할 수 있고, 면적이 더 클수록 더 높은 진폭과 더 넓은 빔 영역에 상관된다. 전극 직경을 조절하는 단계는, 도 17 내지 도 20을 참조하여 위에서 나타난 바와 같이, 반향과 링잉을 감소시키도록 빔 크기를 포함하는 것을 보조할 수 있다.

[0072] 다양한 기타 구현예에서, 렌즈 두께를 조절하여 렌즈 재료 내에서 반향의 시간 지연을 변경할 수 있다. 예를 들

어, 적어도 하나의 특정 구현예에서, 렌즈의 중심에서의 두께는 변환기의 공칭 주파수에 따라 1/4 파장 길이와 매칭된다. 중심 렌즈 두께를 이 1/4 파장 값으로 설정하면, 액추에이터에서 매질로의 음향 커플링을 개선시킨다. 일 구현예에서, 렌즈 두께의 공칭 값은 (10~12 MHz 범위에서 작동하도록 설계된 변환기의 경우) 0.15 mm이나, 약 0.1 내지 0.2 mm로 변할 수 있다.

[0073] 다양한 구현예에 따라, 집속 렌즈(예, 집속 렌즈(212, 312, 312), 도 4, 8, 11)는 변환기 케이싱(202, 302, 402)의 몸체와 연결될 수 있거나, 케이싱과 일체로 연결될 수 있고, 집속 렌즈는 정밀 형성 공정에 의해 이로부터 형성된다. 도 21은 구현예에 따라, 집속 렌즈를 생성하기 위한 시스템(2100)을 나타내는 단순 블록도이다. 시스템(2100)은, 변환기의 개구 직경, 깊이 그리고 형상과 같은 특정 치수 및/또는 원하는 초점 길이, 효율, 및/또는 신호 대 잡음 요건과 같은 성능 기준을 포함한 사용자 입력을 수신하기 위한 사용자 입력 모듈(2102)을 포함할 수 있고, 이는 원하는 목표 매질, 공칭 초점 길이, 및/또는 재료 선택에 의존할 수도 있고 아닐 수도 있다. 모델링 모듈(2104)은, 사용자 입력에 기초하여 필요한 집속 렌즈 형상을 결정할 수 있다. 일부 경우에, 모델링 모듈(2104)은, 집속 렌즈의 선택된 재료 및 목표 매질에 기초하여 집속 렌즈에 추가하기 위한 매칭 층의 특성을 결정할 수 있다. 모델링 모듈(2104)은, 또한 변환기의 성능을 테스트 및/또는 검증에 사용하기 위한 성능 기준(2110)을 생성하기 위해, 사용될 수 있다.

[0074] 하나 이상의 자동화 또는 반자동화 제조 장치(예컨대, 재료를 선택적으로 제거하는 레이저 제거 또는 정밀 CAD 기계 가공 장치, 또는 3차원 프린팅 방법 또는 기상 증착 장치 등과 같이 재료를 추가하는 장치)를 포함할 수 있는 제조 모듈(2106)은 집속 렌즈를 제조하는 데 사용될 수 있고, 이는 매칭 층의 두께를 인가하거나 조절하는 단계를 포함할 수 있다. 뿐만 아니라, 이차 조립 작업은 변환기의 내부 구성 요소를 집속 렌즈의 후면에 조립하는 단계, 선택적으로 집속 렌즈를 변환기 셸과 (예를 들어, 용접으로) 조립하는 단계를 포함한다. 조립된 변환기는 테스트 모듈(2108) 내에 삽입될 수 있고, 이는 변환기를 통해 음향 신호를 반복적으로 생성하고/생성하거나 수신할 수 있어 방출기로서 변환기의 초점 성능 또는 효율을 측정하거나, 센서로서 작동하는 경우 신호 대 잡음 비율, 잡음 감소, 및/또는 변환기의 민감도를 측정한다. 일부 구현예에서, 테스트 모듈(2108)은 긴 시간 동안의 침지 하에 성능 메트릭을 제공하도록 긴 시간에 걸쳐 작동할 수 있다. 성능 기준을 평가할(2110) 수 있고, 렌즈 또는 매칭 층 재료의 추가 또는 제거를 통해 모델링 모듈(2104)에서 집속 렌즈를 정의하기 위한 파라미터를 조절하기 위해 반복적으로 사용할 수 있다.

[0075] 도 22는, 구현예에 따라 불침수성 초음파 변환기를 제조하기 위한 예시적인 공정(2200)을 나타낸다. 공정(2200)은, 예를 들어 도 21에 나타난 시스템(2100)과 함께 구현될 수 있다. 공정(2100)(또는 본원에 설명된 임의의 다른 공정, 또는 이들의 변형 및/또는 조합)의 일부 또는 전부는 실행 가능 명령어로 구성된 하나 이상의 컴퓨터 시스템의 제어 하에 수행될 수 있고, 하나 이상의 프로세서 상에 집합적으로 실행되는 코드(예, 실행 가능한 명령어, 하나 이상의 컴퓨터 프로그램, 또는 하나 이상의 애플리케이션)로서 이의 하드웨어 또는 조합에 의해 구현될 수 있다. 코드는, 예를 들어 하나 이상의 프로세서에 의해 실행 가능한 복수의 명령어를 포함한 컴퓨터 프로그램의 형태로, 컴퓨터 판독 가능 저장 매체 상에 저장될 수 있다. 컴퓨터 판독 가능 저장 매체는 비일시적일 수 있다.

[0076] 공정(2200)은 하나 이상의 변환기 성능 기준을 나타내는 입력을 수신하는 단계(2202)를 포함한다. 입력은, 변환기가 작동하도록 의도된 공칭 주파수, 재료 선택, 초점에서의 음향 빔의 바람직한 초점 길이 또는 원하는 프로파일, 또는 다른 특징을 포함할 수 있다. 다음으로, 집속 렌즈 기하 구조는, 개구 크기(즉, 집속 렌즈의 오목부의 직경) 및 집속 렌즈의 형상 또는 깊이를 포함하는 입력에 기초하여 정의될 수 있다(단계(2204)). 불침수성 변환기 헤드는, 예를 들어 정밀 기계 가공 또는 유사 방법에 의해 정의된 집속 렌즈 기하 구조에 따라 형성될 수 있고(단계(2206)), 변환기 헤드는 불침수성 수단(예, 영구 접합, 접착 및/또는 레이저 용접, 또는 다른 유사한 방법)을 통해 불침수성 케이싱과 후속 연결될 수 있다(단계(2208)). 변환기 전자 부품은 변환기 헤드와 케이싱과 조립될 수 있고(단계(2210)), 이는, 예를 들어 변환기 헤드(200~700)(도 2 내지 도 14)에 대해 기술한 바와 같이, 변환기 헤드의 후면에 접합된 액추에이터뿐만 아니라 후면 재료 및 전자 부품을 포함한다. 변환기 헤드를 케이싱과 연결하는 단계는, 도 23에 나타난 바와 같이 구성 요소가 일체식으로 연결되어 있도록 변환기 헤드와 케이싱을 단일 부품으로부터 형성함으로써, 생략될 수 있음을 이해할 것이다.

[0077] 도 23은 단일 일체형 부품으로부터 변환기 헤드 및 케이싱을 형성하기 위한 예시적인 공정(2300)을 나타낸다. 공정(2300)은 집속 렌즈의 기하 구조를 정의하는 입력을 수신하는 단계(2302)를 포함하고, 이는 초음파 변환기의 임의의 적절한 성능 기준에 따라 정의될 수 있으며, 상기 도 22를 참조로 설명된 바와 같다. 비부식성 금속 또는 합금 셸과 같은 불침수성 재료로부터 하나의 말단에서 폐쇄된 불침수성 케이싱을 주조, 기계 가공 또는 유사 방법의 조합에 의해 형성할 수 있고(단계(2304)), 상기 폐쇄 말단은 그 안에 집속 렌즈를 수용하기에 충분한

두께를 갖고 크기가 조절된다. 그 다음, 집속 렌즈는, 예를 들어 정밀 기계 가공 또는 유사 방법에 의해 케이싱의 폐쇄 말단으로부터 재료를 제거함으로써 형성될 수 있다(단계(2306)). 이러한 방식으로 형성된 케이싱 및 변환기 헤드는, 이어서 전술한 다양한 변환기 전자 부품과 조립될 수 있다.

[0078] 목표 매질의 음향 임피던스와 상당히 상이한 음향 임피던스를 갖는 임의의 변환기 헤드 재료(예, 2 MRayl 미만의 음향 임피던스 Z를 갖는 수용액에 대해 10 MRayl 초과인 음향 임피던스 Z를 갖는 전형적인 금속에서 일어나는 것처럼 5를 초과한 비율)는, 집속 렌즈와 매질 사이의 경계면에서 음향 에너지를 발산하는 경향이 있고, 임피던스 차이가 클수록 손실이 더욱 크다. 종래의 침지 변환기에서, 변환기 헤드는 일반적으로 낮은 음향 임피던스를 갖는 재료로 구성되어서 이송 손실이 최소화되며, 이를 통과하는 음향 에너지의 일부를 흡수 또는 감쇠시켜 잡음이 감쇠된다. 그러나, 본원에서 설명하는 바와 같은 구현예에서, 집속 렌즈는 완전히 불침수성인 재료, 예컨대 금속성(예, 스테인리스 스틸 또는 백금) 셀이다. 이러한 재료는 더 효율적인 방출기일 수 있어서, 이를 통과하는 에너지를 덜 흡수한다. 그러나, 이러한 변환기가 저 임피던스 매질로 직접 방출하면, 이는 중간 경계면에서 전이 손실로 상당한 양의 음향 에너지를 잃을 수 있고, 높은 정도의 잡음 및 내부 반사를 가질 수 있다. 이러한 단점은 아래의 도 24를 참조하여 논의된 방법에 의해 완화될 수 있다.

[0079] 도 24는, 구현예에 따라 전이 손실 및/또는 잡음을 완화하기 위해 변환기 헤드 및/또는 케이싱을 개조하기 위한 예시적인 공정(2400)을 나타낸다. 공정(2400)은, 변환기 헤드 재료 및 변환기가 작동하도록 의도된 목표 매질의 음향 임피던스에 관한 정보를 포함하는 입력을 수신하는 단계(2404)를 포함한다. 매칭 재료(들)는 각각의 음향 임피던스에 기초하여 집속 렌즈와 목표 매질 사이의 음향 에너지 전달을 용이하게 하기 위해 선택된다(단계(2406)). 단일 매칭 재료는 도 12와 식(1)에 대해 전술한 바와 같이 파라미터의 임의의 적절한 조합에 따라 선택될 수 있다. 일부 경우에, 다중 매칭 층이 선택될 수 있으며, 이 경우 각각의 재료는 도 13과 관련하여 전술한 바와 같은 파라미터의 임의의 적절한 조합과 식 2의 연립식에 따라 선택될 수 있다.

[0080] 그 다음, 매칭 층 재료의 공칭 두께는, 선택된 재료의 음향 임피던스, 및 변환기가 작동하도록 의도된 공칭 주파수에 기초하여 결정될 수 있다(단계(2308)). 도 12를 참조하여 설명된 바와 같이, 공칭 두께는 바람직하게는 매칭 층 재료를 통과하는 음파에 대한 공칭 주파수와 연관된 1/4 파장 또는 대안적으로 1/4 파장의 임의의 홀수 배(예, 3/4 파장)를 목표로 한다. 매칭 층은 공칭 두께 이상의 두께로 집속 렌즈에 적용된다(단계(2410)). 일부 경우에, 재료를 균일하고 정확하게 분배하는 방식으로 매칭 층이 증착되는 경우, 상기 매칭 층은 바람직한 두께로 바로 적용될 수 있다. 그러나, 일부 경우에서 전체 매칭 층을 바람직한 공칭 두께와 일치시키기 위해, 매칭 층을 (예를 들어, 정밀 기계 가공에 의해) 부분적으로 제거할 수 있다(단계(2412)).

[0081] 잡음 또는 링잉을 완화시키기 위해서, 추가 재료를 집속 렌즈에 인접하게 변환기 헤드 상에 적용할 수 있다. 예를 들어, 음향 흡수 물질로 형성된 감쇠 층을 집속 렌즈의 주변부 주위에 적용할 수 있다(단계(2414)). 일부 경우에, 감쇠 층은 하나 이상의 소형 추가 변환기와 같은 추가 구성 요소를 위한 후면 재료로서 사용될 수 있고, 그 다음 추가 변환기는 그 위에 장착될 수 있고 변환기(400)(도 10 및 도 11)를 참조하여 전술한 바와 같이 감쇠 층을 후면 재료로서 사용하여 작동할 수 있다(단계(2416)).

[0082] 전술한 바와 같은 불침수성 변환기는 예외적으로 시간에 따라 균일한 성능을 제공하고, 종래 변환기 설계와 대조적으로 유체 노출에 반응하여 열화되지 않는다. 이러한 변환기로부터, 침지에도 불구하고 일정한 성능을 제조 시간으로부터 장기적인 사용 내내 기대할 수 있다. 예를 들어, 동일한 음향 초점을 갖는 두 개의 동일한 변환기가 서로 교환 가능해야 하고, 액적 전달 응용 분야에 사용되는 경우에 비록 하나를 5년 사용하고(기기 외부에서 건조한 채로 남겨짐) 다른 하나는 5년 동안 침지된 경우라 하더라도, 동일한 크기의 액적을 생성할 수 있어야 한다. NDT와 같이 다른 침지 응용 분야에서도 장기간 사용에, 유사한 일관성을 기대할 수 있다.

[0083] 유체 불투과성 변환기에서의 성능의 일관성은 몇몇 방식으로 특징화될 수 있고, 일관된 초점 길이, 편심성, 대칭성을 포함하나 이에 제한되지 않는다. 초점 길이는 렌즈의 정점을 통해 축을 따라 음향 빔의 진폭을 측정함으로써 실험적으로 결정될 수 있다. 도 25는, 이 축을 따른 예시적인 초점 스윙을 보여주는 그래프로서, 에코 진폭을 에코 지연, 또는 렌즈로부터의 거리에 대응하는 비행 시간(ToF)의 함수로서 나타낸다. 유사하게, 초점의 형상(예, 편심, 대칭)은 초점 길이, 즉 초점 평면에 대응하는 2차원 평면 전체에 걸쳐 음향 빔의 진폭을 측정함으로써 실험적으로 결정될 수 있다. 도 26은, 유체 불투과성 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 예시적인 초점 평면 전체에 대해 측정된 에코 진폭을 나타내는 등고선도이다.

[0084] 변환기의 초점 길이를 측정하기 위한 절차는 다음과 같다. 평평한 고체 플레이트를 변환기 전방의 기계식 병진 이동 스테이지 상에 장착해서, 상기 플레이트를 변환기로부터 방사된 음향 빔에 수직이 되게 한다. 병진 이동 스테이지는 플레이트를 이동시키도록 구성되어, 렌즈의 정점과 플레이트 사이의 거리가 렌즈의 예상 초점 평면

주위로 변할 수 있도록 해야 한다. 변환기와 플레이트 사이의 공간은, 온도 제어 환경에서 적절한 커플링 유체, 예컨대 이에 제한되지 않는 증류수로 충진된다. 평평하고 매끄러운 스테인리스 플레이트가 고체 부품으로서 사용될 수 있다. 변환기는 플레이트로부터 별개 간격의 범위에 위치하고, 각 간격에서 짧은 "핑(ping)" 파형으로 여기된다. 각각의 핑은 변환기에서 플레이트로 이동하는 짧은 파열 음향을 여기시키고, 이는 렌즈를 향해 다시 반사되고 변환기에서 전기 신호로 다시 전환된다. 각 핑마다, 반사된 에코와 인가된 핑 신호 사이의 지연뿐만 아니라 에코 피크 진폭이 측정되고, 이 공정은 각각의 연속하는 변환기-플레이트 간격에서 반복된다. 각각의 에코 피크 진폭 및 지연은 도 25에 나타난 바와 같이 그려질 수 있다. 가장 높은 에코 복귀 값을 제공하는 지연은, 변환기의 초점 길이에 대응하는 특징적인 비행 시간(ToF)이다. 필요한 경우, 곡선 피팅을 채택하여 수신된 에코의 불가피한 잡음을 매끄럽게 해서 초점 ToF의 일관된 추정치를 만들 수 있다. 본원에 개시된 유체 불투과성 변환기는 장기간 침지 동안 렌즈 형상을 보유할 수 있고, 이에 따라 장기간 침지 후에도 일관된 초점 길이를 유지할 수 있다. 일부 구현예에 따라, 본원에 개시된 바와 같은 유체 불투과성 변환기는, 초기 침지 직후에 발생한 초기 음향 빔의 초기 초점 길이의 0.1% 이내에 초점 길이를 갖는 침지 1년 후의 음향 빔을 생성할 수 있다. 이러한 일관성은 장기간 침지 후의 빔 편심성 및 대칭성으로 또한 연장될 수 있다.

[0085] 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 공간적 특성을 측정하기 위한 절차와 이에 의해 이의 편심성 및 대칭성을 측정하는 절차는 다음과 같다. 먼저, 핀이 변환기로부터 방사된 음향 빔과 정렬되고 팁이 렌즈의 초점 평면에 있도록, 날카로운 핀 반사기가 변환기 전방에서 x-y 이중 기계식 병진 이동 스테이지 상에 장착된다. 병진 이동 스테이지는, 렌즈의 예상 초점 주위에서 핀을 가로 방향으로 이동시키도록 구성되어야 한다. 변환기와 핀 사이의 공간은, 온도 제어 환경에서 적절한 커플링 유체, 보통 증류수로 충진된다. 일단 조립되면, 병진 이동 스테이지는 작은 x-y 단계 증분의 래스터 패턴으로 핀을 이동시키기 위해 사용되며, 그 동안 변환기는 음향 신호를 방출하고 기록하는 데 사용된다. 각각의 x-y 위치에서, 다음의 단계가 수행된다: (a) 변환기는 짧은 "핑" 파형으로 여기된다. (b) 핑은 변환기에서 플레이트로 이동하는 짧은 음향 파열을 여기시킨다. (c) 핀은 음향 빔을 변환기의 렌즈를 향해 다시 반사시킨다. (d) 변환기 신호는 에코를 다시 전기 신호로 전환시킨다 (e) 반사된 에코의 반사 에코 피크 진폭은 각각의 x-y 위치와 연관되어 기록된다. 피크 에코 신호를 기록한 값은, 도 26의 등고선 플롯에 나타난 바와 같이 x-y 위치에 대해 그려질 수 있다. 표면 피팅은 변환기로부터 방출된 음향 빔의 편심성 또는 동심성을 추정하는 데 사용될 수 있다.

[0086] 본원에 개시된 유체 불투과성 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 공간적 특성은, 액체를 점진적으로 흡수하거나 열화되거나 변형되는 재료를 사용한 변환기와는 대조적으로, 시간 경과에 따라 침지 후에도 매우 일관성이 있다. 이러한 일관성은 대칭성, 편심성, 또는 동심성, 또는 다른 속성으로 설명할 수 있다. 일부 구현예에 따라, 일 년간 액체에 변환기를 침지한 후에 유체 불투과성 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 편심성은, 초기 침지 직후에 발생한 초기 음향 빔의 초기 편심성의 0.1% 이내와 일치한다. 변환기 렌즈뿐만 아니라 후면 층 및 액추에이터 용으로 본원에 개시된 유체 불투과성 재료는, 이전에 이용 가능한 변환기보다 개선된 렌즈 형상의 정밀도 및 이에 의해 생성된 음향 빔 형상을 또한 제공할 수 있다. 따라서, 0.1% 미만의 편심성을 갖는(즉, 완벽하게 동심원이거나 거의 동심원인) 정밀한 음향 빔 형상이 달성 가능하고, 장기간 침지에 걸쳐 유지될 수 있다.

[0087] 일부 대안적인 구현예에서, 본원에 설명된 바와 같은 불침수성 변환기는 특정 응용 분야(예, NDT 및 분석 응용 분야, 고전력 응용 분야 등)용 변환기 어레이에 사용될 수 있다. 본원에 설명된 바와 같은 불침수성 변환기는, 반대로 변환기 어레이용으로 종래 예약된 응용 분야에서의 변환기 어레이를 대체하는 데 또한 사용될 수도 있다. 이러한 변환기 어레이는, 예를 들어 미국 특허 제8,544,976호에 개시되어 있다. 당업계에 공지된 접근법은, 스캐닝 작업에 의해 이러한 구조물로부터 복귀한 에코의 특성에 기초하여 스캐닝된 구조물의 물리적 파라미터를 결정하는 데 사용될 수 있다. NDT에 대한 다양한 물리적 파라미터 및 에코 특성뿐만 아니라 스캐닝 파라미터가 당업계에 공지되어 있고, 다음의 참고 문헌에 개시되어 있으며, 이는 모든 목적을 위해 참조로 본원에 포함된다: V. M. Ristic, "Principles of Acoustic Devices", John Wiley and Sons (1983); G. Crowe, "An Introduction to Nondestructive Testing"(2009), <https://www.ndt.org/> 및 <https://asnt.org/Home>.

[0088] 전술한 다양한 연산 방법은, 하드웨어, 소프트웨어, 및/또는 펌웨어를 갖는 컴퓨터 또는 다른 프로세서와 함께 또는 이를 사용하여 수행될 수 있다. 다양한 방법 단계는 모듈에 의해 수행될 수 있고, 모듈은, 본원에서 설명하는 방법 단계를 수행하도록 배열된 매우 다양한 디지털 및/또는 아날로그 데이터 처리 하드웨어 및/또는 소프트웨어 중 임의의 것을 포함할 수 있다. 모듈은 이들 단계 중 하나 이상을 수행하도록 조정된 데이터 처리 하드웨어를 선택적으로 포함하고 이와 연관된 적절한 기계 프로그래밍 코드로 수행하고, 두 개 이상의 단계(또는 두 개 이상의 단계 중 일부)에 대한 모듈은 단일 프로세서 보드에 통합되거나, 매우 다양한 통합 및/또는 분산된 처리 아키텍처 중 임의의 곳에서 상이한 프로세서 보드로 분리된다. 이들 방법 및 시스템은 유형의 매체를 자주

사용하며, 이는 종종 전술한 방법 단계를 수행하기 위한 명령어를 갖는 기계 판독 가능 코드를 구체화한다. 유형의 적절한 매체는 메모리(휘발성 메모리 및/또는 비휘발성 메모리 포함), 저장 매체(플로피 디스크, 하드 디스크, 테이프 등의 자기 기록; CD, CD-R/W, CD-ROM, DVD 등과 같은 광 메모리; 또는 임의의 다른 디지털 또는 아날로그 저장 매체) 등을 포함할 수 있다.

[0089] 본원에 나타난 구체적인 내용은 예시로서 그리고 본 발명의 바람직한 구현예에 대한 예시적인 설명의 목적으로만 사용되고, 본 발명의 다양한 구현예의 원리 및 개념적 양태의 가장 유용하고 쉽게 이해되는 설명으로 여겨지는 것을 제공하기 위해 제시된다. 이와 관련하여, 본 발명의 기본 이해에 필요한 것보다 더 상세하게 본 발명의 구조적 상세를 나타내려는 시도는 이루어지지 않고, 도면 및/또는 실시예와 함께 취해진 설명은 본 발명의 여러 형태가 어떻게 실시해서 구현될 수 있는지 당업자에게 명백히 나타낸다.

[0090] 다음의 실시예에서 명확하고 분명하게 변형되지 않는다면, 또는 의미의 적용이 임의의 구성을 의미 없이 또는 본질적으로 의미 없이 하는 경우에, 다음의 정의와 설명은 장래 구성 일체를 조절하기 위한 것으로 의미가 부여되고 그렇게 의도된다. 용어의 구성이 의미가 없거나 본질적으로 의미가 없는 경우, 그 정의를 Webster's Dictionary, 3rd Edition 또는 당업자에게 공지된 사전, 예컨대 Oxford Dictionary of Biochemistry and Molecular Biology(Ed. Anthony Smith, Oxford University Press, Oxford, 2004)로부터 취해야 한다.

[0091] 문맥이 명백히 달리 요구하지 않는 한, 설명 및 청구범위 전반에 걸쳐, 단어 '포함하다', '포함하는' 등은, 배타적이거나 완전한 의미와 반대인, 포괄적인 의미로 해석되어야 한다; 즉 "포함하나 이에 제한되지 않는" 이라는 의미이다. 단수 또는 복수를 사용하는 단어는 각각 복수와 단수를 포함한다. 또한, 본 출원에서 사용되는 경우, 단어 "본원", "상기", "이하" 및 이와 유사한 단어는, 본 출원을 전체로서 지칭하고 본 출원의 임의 특정 부분을 지칭하는 것은 아니다.

[0092] 본 개시의 구현예의 설명을 완전하게 하거나 개시된 정확한 형태로 본 개시를 제한하고자 의도되지 않는다. 본 개시의 특정 구현예 및 이에 대한 실시예는 예시적인 목적을 위해 본원에 설명되나, 당업자가 이해하는 바와 같이, 본 개시의 범주 내에서 동등한 변형예가 다양하게 가능하다.

[0093] 특허 파일(특허, 특허 출원, 및 특허 공개를 포함함), 과학 저널, 책, 논문, 기술 참조 문헌, 그리고 본 출원에서 논의된 기타 간행물 및 자료를 포함한 모든 참조 문헌은, 모든 목적을 위해 그 전체가 참조로 본원에 포함된다.

[0094] 본 개시의 양태는, 필요한 경우 상기 참조 문헌 및 출원의 시스템, 기능 및 개념을 채용하여 본 개시의 또 다른 추가 구현예를 제공하도록 변형될 수 있다. 이들 및 다른 변화는 상세한 설명을 고려하여 본 개시에 적용될 수 있다.

[0095] 전술한 구현예의 특정 요소는 다른 구현예에서의 요소를 조합하거나 대체할 수 있다. 또한, 본 개시의 특정 구현예와 관련된 장점은 이들 구현예의 맥락에서 설명되었지만, 다른 구현예도 이러한 장점을 나타낼 수 있고, 모든 구현예가 본 개시의 범주 내에 속하는 이러한 장점을 반드시 나타낼 필요는 없다.

[0096] 상기 내용은 본 발명의 예시적인 구현예에 대해 전체적으로 완전한 개시를 제공하지만, 다양한 변형물, 대안적인 구성물 및 균등물을 원하는 대로 사용할 수 있다. 결과적으로, 구현예가 일부 상세하게 설명되었지만, 예시로서 그리고 이해의 명확성을 위해, 당업자에게 다양한 변형, 변경 및 적응이 명백할 것이다. 따라서, 상기 설명 및 예시는 본 발명을 제한하는 것으로 유추되어서는 안되고, 이는 첨부된 청구범위에 의해 정의될 수 있다.

[0097] 다른 변형예도 본 개시의 사상에 있다. 따라서, 개시된 기술은 다양한 변형 및 대안적인 구성을 수용하나, 이의 특정 예시 구현예가 도면에 나타나 있고 상세히 전술되었다. 그러나, 개시된 특정 형태(들)로 본 발명을 제한하려는 의도는 없고, 오히려 반대로 첨부된 청구범위에 정의된 바와 같이, 본 개시의 사상 및 범주 내에 속하는 모든 변형물, 대안적인 구성물 및 균등물을 포함하려는 의도가 있음을 이해해야 한다.

[0098] 개시된 구현예를 설명하는 문맥에서(특히 다음 청구범위의 문맥에서), 용어 "일" 및 "하나" 및 "특정한 하나" 및 유사한 지시 대상을 사용하는 것은, 본원에서 달리 지시되지 않거나 문맥에 의해 명확하게 부정되지 않는 한, 단수와 복수 모두를 포함하는 것으로 유추되어야 한다. 용어 "포함하는", "갖는", "포함한", 및 "함유하는"은, 달리 언급하지 않는 한, 개방 종결형 용어로서 유추되어야 한다(즉, "포함하나 이에 제한되지 않음"을 의미함). 용어 "연결된"은, 비록 무언가 개재되는 것이 있더라도, 부분적으로 또는 전체적으로 그 안에 포함되거나, 부착되거나, 함께 결합되는 것으로 해석되어야 한다. 본원에서 값의 범위의 설명은, 본원에서 달리 지시되지 않는 한, 범위 내에 속하는 각각의 별도의 값을 개별적으로 참조하는 약칭 방법으로서 역할을 하도록 의도된 것뿐이며, 각각의 별도 값은 본원에서 개별적으로 인용된 것처럼 명세서에 포함된다. 본원에 기술된 모든 방

법은, 본원에서 달리 지시되지 않거나 문맥에 의해 명확하게 부정되지 않는 한, 임의의 적절한 순서로 수행될 수 있다. 본원에서 제공되는 임의의 그리고 모든 예시, 또는 예시적인 언어(예, "예컨대")의 사용은, 단지 본 개시의 구현예를 단지 더 잘 나타내기 위한 것이고, 달리 청구되지 않는 한, 본 발명의 범주에 대한 제한을 주지 않는다. 본 명세서의 어떠한 언어도, 임의의 청구되지 않은 요소를 본 개시의 실시예에 필수적인 것으로서 나타내는 것으로 유추되어서는 안된다.

- [0099] 달리 구체적으로 언급하지 않는 한, 문구 "X, Y 또는 Z 중 적어도 하나"와 같은 이접형 언어는, 항목, 용어 등이 X, Y, Z 중 하나 또는 이들의 임의의 조합(예, X, Y, 및/또는 Z)일 수 있는 것으로 일반적으로 사용되는 문맥에서 이해하도록 의도된다. 따라서, 이러한 이접형 언어는, 특정 구현예가 적어도 하나의 X, 적어도 하나의 Y, 적어도 하나의 Z가 각각 존재해야 함을 요구하는 것을 일반적으로 의미하고자 하는 것도 아니고 의미해서도 안된다.
- [0100] 본 개시의 바람직한 구현예가 본원에 설명되고, 본 개시를 수행하기 위해 발명자에게 알려진 최상의 모드를 포함한다. 이들 바람직한 구현예의 변형은, 전술한 설명을 읽을 시 당업자에게 명백해질 수 있다. 본 발명자는 당업자가 이러한 변형을 적절하게 사용할 것으로 기대하고 본 발명자는 본원에 특정적으로 설명된 것보다 달리 본 개시가 실시되도록 의도한다. 따라서, 본 개시는, 적용 가능한 법에 따라, 본원에 첨부된 청구 범위에 인용된 주제의 모든 변형물 및 균등물을 포함한다. 또한, 본원에서 달리 지시되지 않거나 문맥에 의해 달리 명확히 부정되지 않는 한, 이들의 모든 가능한 변형물에서 전술한 요소의 임의의 조합이 본 개시에 포함된다.
- [0101] 본원에 인용된 간행물, 특허 출원 및 특허를 포함한 모든 참조 문헌은, 각각의 참조 문헌이 개별적으로 그리고 구체적으로 참조 문헌으로 통합되는 것으로 표시되고 본원에 그 전체가 기재된 것처럼, 동일한 정도로 참조 포함된다.
- [0102] 이하에서, 본 발명의 이해를 용이하게 하도록 추가 실시예를 설명한다.
- [0103] 실시예 A. 케이싱; 금속 집속 렌즈를 포함한 유체 불투과성 변환기 헤드(상기 변환기 헤드는 후면 및 전면을 갖고, 상기 금속 집속 렌즈는 전면 상에 위치하고 초음파를 초점으로 집속시키도록 구성됨); 및 상기 변환기 헤드의 후면에 접합되고 상기 금속 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능하여 초음파가 상기 금속 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 하는 액추에이터를 포함하되, 상기 케이싱으로의 액체 유입을 방지하기 위해 상기 케이싱과 상기 변환기 헤드가 유체 불투과성 방식으로 연결되는, 변환기.
- [0104] 실시예 B. 실시예 A에 있어서, 상기 케이싱은 유체 불투과성 결합부를 통해 상기 금속 집속 렌즈에 연결된 금속 케이싱을 포함하는, 변환기.
- [0105] 실시예 C. 실시예 B에 있어서, 상기 유체 불투과성 결합부는 용접된 결합부를 포함하는, 변환기.
- [0106] 실시예 D. 실시예 A 내지 실시예 C 중 어느 하나에 있어서, 상기 케이싱과 변환기 헤드는, 가스가 상기 케이싱으로 유입하는 것을 방지하기 위해 유체 불투과성 방식으로 연결되는, 변환기.
- [0107] 실시예 E. 실시예 A 내지 실시예 D 중 어느 하나에 있어서, 상기 케이싱과 상기 금속 집속 렌즈는 일체식으로 형성되는, 변환기.
- [0108] 실시예 F. 실시예 A 내지 실시예 E 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈는 구형 오목면을 포함하는, 변환기.
- [0109] 실시예 G. 실시예 A 내지 실시예 F 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈는 원통형 오목면을 포함하는, 변환기.
- [0110] 실시예 H. 실시예 A 내지 실시예 G 중 어느 하나에 있어서, 상기 액추에이터는 압전 변환기인, 변환기.
- [0111] 실시예 I. 실시예 A 내지 실시예 H 중 어느 하나에 있어서, 상기 변환기 헤드의 전면은 상기 집속 렌즈를 둘러싸는 주변부를 포함하고, 상기 주변부와 인터페이스되고 상기 액추에이터로부터 방출된 초음파 에너지를 상기 주변부를 통해 흡수하도록 구성된 감쇠 층을 추가로 포함하는, 변환기.
- [0112] 실시예 J. 실시예 A 내지 실시예 I 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈에서 매질로 초음파를 전달하기 위해 상기 집속 렌즈에 결합된 매칭 층을 추가로 포함하고, 상기 매칭 층은, 상기 집속 렌즈에서 상기 매질로 초음파를 직접 전달하는 것과 비교하여 상기 집속 렌즈에서 상기 매질로 초음파의 전달을 향상시키도록 구성되는, 변환기.
- [0113] 실시예 K. 실시예 J에 있어서, 상기 집속 렌즈는 제1 음향 임피던스를 갖고, 상기 매질은 제1 음향 임피던스와

상이한 제2 음향 임피던스를 갖고, 상기 매칭 층은 제1 및 제2 음향 임피던스 사이에 매칭 음향 임피던스를 갖는, 변환기.

- [0114] 실시예 L. 실시예 K에 있어서, 상기 매칭 음향 임피던스는 식 $Z_m = \sqrt{(Z_1 Z_c)}$ (여기서, Z_1 는 제1 음향 임피던스이고 Z_c 는 제2 음향 임피던스임)에 따른 Z_m 과 거의 동일한, 변환기.
- [0115] 실시예 M. 실시예 L에 있어서, 상기 매칭 음향 임피던스는 Z_m 의 10% 이내인, 변환기.
- [0116] 실시예 N. 실시예 L에 있어서, 상기 매칭 음향 임피던스는 Z_m 의 5% 이내인, 변환기.
- [0117] 실시예 O. 실시예 K에 있어서, 상기 매칭 음향 임피던스는 약 4~10 Mrayl의 범위 내에 있는, 변환기.
- [0118] 실시예 P. 실시예 K에 있어서, 상기 매칭 음향 임피던스는 약 6~8 Mrayl의 범위 내에 있는, 변환기.
- [0119] 실시예 Q. 실시예 J 내지 실시예 P 중 어느 하나에 있어서, 상기 매칭 층은 그래파이트를 포함하는, 변환기.
- [0120] 실시예 R. 실시예 J 내지 실시예 P 중 어느 하나에 있어서, 상기 매칭 층은 플루오로폴리머 층을 포함하는, 변환기.
- [0121] 실시예 S. 실시예 J 내지 실시예 P 중 어느 하나에 있어서, 상기 매칭 층은 폴리비닐리덴 디플루오라이드를 포함하는, 변환기.
- [0122] 실시예 T. 실시예 J 내지 실시예 S 중 어느 하나에 있어서, 상기 매칭 층은 상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배에 대응하는 두께를 갖는, 변환기.
- [0123] 실시예 U. 실시예 T에 있어서, 상기 매칭 층의 두께는 상기 1/4 파장의 홀수 배로 정의된 공칭 두께의 20% 내에 있는, 변환기.
- [0124] 실시예 V. 실시예 T에 있어서, 상기 매칭 층의 두께는 상기 1/4 파장의 홀수 배로 정의된 공칭 두께의 10% 내에 있는, 변환기.
- [0125] 실시예 W. 실시예 T 내지 실시예 V 중 어느 하나에 있어서, 상기 공칭 주파수는 2 내지 15 MHz의 범위 내인, 변환기.
- [0126] 실시예 X. 실시예 T 내지 실시예 W 중 어느 하나에 있어서, 상기 매칭 층은 30 내지 80 μm 범위의 두께를 갖는, 변환기.
- [0127] 실시예 Y. 실시예 A 내지 실시예 X 중 어느 하나에 있어서, 상기 전면 상에 배치된 제1 매칭 층과 제1 매칭 층 상에 배치된 제2 매칭 층을 추가로 포함하되, 제1 및 제2 매칭 층은 상기 집속 렌즈에서 매질로 초음파를 직접 전달하는 것과 비교하여 상기 집속 렌즈에서 상기 매질로 초음파의 전달을 향상시키도록 구성되는, 변환기.
- [0128] 실시예 Z. 실시예 Y에 있어서, 상기 집속 렌즈는 제1 음향 임피던스를 갖고, 상기 매질은 제1 음향 임피던스와 상이한 제2 음향 임피던스를 갖고, 제1 매칭 층은 제1 및 제2 음향 임피던스 사이의 제1 매칭 음향 임피던스를 갖고, 제2 매칭 층은 제1 매칭 음향 임피던스와 제2 음향 임피던스 사이의 제2 매칭 음향 임피던스를 갖는, 변환기.
- [0129] 실시예 AA. 실시예 Z에 있어서, 제1 및 제2 매칭 음향 임피던스는 각각 Z_{m1} 및 Z_{m2} 와 거의 동일하고, 여기서 $Z_{m1} = \sqrt{(Z_1 Z_{m2})}$ 및 $Z_{m2} = \sqrt{(Z_{m1} Z_c)}$ 이고, Z_1 는 상기 금속 집속 렌즈의 음향 임피던스에 대응하고, Z_c 는 상기 매질의 음향 임피던스에 대응하는, 변환기.
- [0131] *실시예 AB. 실시예 A 내지 실시예 AA 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈는 상기 액추에이터보다 직경이 더 큰, 변환기.
- [0132] 실시예 AC. 실시예 A 내지 실시예 AB 중 어느 하나에 있어서 상기 변환기 헤드는 금속 또는 금속 합금으로 형성되는, 변환기.
- [0133] 실시예 AD. 실시예 A 내지 실시예 AC 중 어느 하나에 있어서, 상기 변환기 헤드는 알루미늄(Al), 베릴륨(Be), 카드뮴(Cd), 탄소(C), 크롬(Cr), 구리(Cu), 게르마늄(Ge), 금(Au), 철(Fe), 납(Pb), 망간(Mn), 몰리브덴(Mo), 니켈(Ni), 니오븀(Nb), 인(P), 백금(Pt), 셀레늄(Se), 실리콘(Si), 은(Ag), 주석(Sn), 티타늄(Ti), 텅스텐(W),

바나듐(V), 아연(Zn), 또는 지르코늄(Zr) 중 하나 이상을 포함하는, 변환기.

- [0134] 실시예 AE. 실시예 A 내지 실시예 AD 중 어느 하나에 있어서, 상기 변환기 헤드 및 케이싱은 액체에 침지되는 경우에, 액체 침투 깊이와 유도된 재료 손실이 영(zero)인 것을 특징으로 하는, 변환기
- [0135] 실시예 AF. 실시예 A 내지 실시예 AE 중 어느 하나에 있어서, 상기 변환기 헤드 및 케이싱은 액체와 접촉하는 년 수마다 0.1% 미만의 재료 중량 손실을 특징으로 하는, 변환기.
- [0136] 실시예 AG. 실시예 A 내지 실시예 AF 중 어느 하나에 있어서, 상기 액추에이터는 상기 변환기에 의해 발생된 공칭 주파수에서 음향 신호의 공칭 음향 파장의 대략 1/2과 동일한 두께를 갖는, 변환기.
- [0137] 실시예 AH. 실시예 A 내지 실시예 AG 중 어느 하나에 있어서, 상기 액추에이터는 275 μm 와 대략 동일한 두께를 갖는, 변환기.
- [0138] 실시예 AI. 실시예 A 내지 실시예 AH 중 어느 하나에 있어서, 상기 액추에이터에 의해 전달된 음향 에너지를 감소시키도록 구성된 후면 재료를 추가로 포함하되, 상기 액추에이터는 상기 후면 재료와 상기 금속 집속 렌즈 사이에 위치하는, 변환기.
- [0139] 실시예 AJ. 실시예 AI에 있어서, 상기 후면 재료는 음향 감쇠 재료에 균일하게 현탁된 음향 산란 재료의 입자를 포함하는, 변환기.
- [0140] 실시예 AK. 실시예 AI에 있어서, 상기 후면 재료는 감쇠 폴리머 매트릭스를 포함하는, 변환기.
- [0141] 실시예 AL. 실시예 AI에 있어서, 상기 후면 재료는 실리콘 카바이드 입자로 함침된 감쇠 폴리머 매트릭스를 포함하는, 변환기.
- [0142] 실시예 AM. 실시예 AI에 있어서, 상기 후면 재료는 텅스텐 입자로 함침된 감쇠 폴리머 매트릭스를 포함하는, 변환기.
- [0143] 실시예 AN. 실시예 AI 내지 실시예 AM 중 어느 하나에 있어서, 상기 후면 재료는 13.5 내지 16.5 Mrayl 범위의 음향 임피던스를 갖는, 변환기.
- [0144] 실시예 AO. 실시예 AI 내지 실시예 AN 중 어느 하나에 있어서, 상기 케이싱의 내부 공간을 실질적으로 충전하는 밀봉재를 추가로 포함하고, 상기 후면 재료는 상기 액추에이터와 상기 밀봉재 사이에 배치되는, 변환기.
- [0145] 실시예 AP. 실시예 A 내지 실시예 AO 중 어느 하나에 있어서, 상기 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 초점 길이는 액체와 접촉하는 년 수마다 0.1% 미만의 속도로 상기 초점 길이가 변하는 정도로 충분히 안정적인, 변환기.
- [0146] 실시예 AQ. 실시예 A 내지 실시예 AP 중 어느 하나에 있어서, 상기 변환기에 의해 발생된 음향 빔의 편심성은 액체와 접촉하는 년 수마다 0.1% 미만의 속도로 상기 편심성이 변하는 정도로 충분히 안정적인, 변환기.
- [0147] 실시예 AR. 실시예 A 내지 실시예 AQ 중 어느 하나에 있어서, 상기 변환기는 2 기압 초과에서 130° C를 초과하는 온도에 노출되는 경우에 유체 불투과성이고 성능 변화에 대해 회복 탄력성을 갖는, 변환기.
- [0148] 실시예 AS. 유체 불투과성 초음파 변환기를 형성하는 방법으로서, 상기 방법은, 내부 공동과 제1 개방 말단을 갖는 실질적인 중공형 케이싱을 유체 불투과성 재료로부터 형성하는 단계; 상기 유체 불투과성 재료로부터 변환기 헤드 요소를 형성하는 단계(상기 변환기 헤드 요소는 상기 케이싱의 제1 개방 말단과 연결하기 위해 크기가 조절됨); 초점을 향해 초음파를 집속시키도록 구성된 집속 렌즈를 상기 헤드 요소의 전면 상에 형성하는 단계; 유체 불투과성 결합부를 형성하기 위해 상기 헤드 요소를 상기 케이싱의 제1 말단에 결합시키는 단계(상기 헤드 요소는 상기 집속 렌즈가 상기 케이싱에서 멀어지도록 위치함); 및 상기 전면에 대향하는 상기 변환기 헤드의 후면에 액추에이터를 접합하는 단계(상기 액추에이터는, 상기 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능하여 초음파가 상기 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 함)을 포함하는, 방법.
- [0149] 실시예 AT. 실시예 AS에 있어서, 상기 헤드 요소를 상기 케이싱의 제1 말단에 결합시키는 단계는, 상기 헤드 요소를 상기 케이싱과 용접하는 단계를 포함하는, 방법.
- [0150] 실시예 AU. 실시예 A 내지 실시예 AT 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈를 형성하는 단계는 정밀 기계 가공 공정을 통해 상기 헤드 요소의 전면으로부터 재료를 제거하는 단계를 포함하는, 방법.
- [0151] 실시예 AV. 실시예 A 내지 실시예 AU 중 어느 하나에 있어서, 상기 케이싱 내의 액추에이터에 인접하여 그 뒤에 후면 재료를 삽입하는 단계; 및 상기 밀봉재로 상기 케이싱의 내부 공동의 나머지를 실질적으로 충전하는 단계

를 추가로 포함하는, 방법.

- [0152] 실시예 AW. 실시예 A 내지 실시예 AV 중 어느 하나에 있어서, 매칭 층을 상기 집속 렌즈에 적용하는 단계를 추가로 포함하되, 상기 매칭 층은 식 $Z_m = \sqrt{(Z_1 Z_c)}$ (여기서, Z_1 는 상기 헤드 요소에 대응하는 제1 음향 임피던스이고 Z_c 는 매질에 대응하는 제2 음향 임피던스임)에 따른 Z_m 에 대응하는 매칭 음향 임피던스를 갖는 재료를 포함하는, 방법.
- [0153] 실시예 AX. 실시예 AW에 있어서, 상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배의 두께로 맞추기 위해 상기 매칭 층의 두께를 감소시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0154] 실시예 AY. 실시예 AW에 있어서, 상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배에 해당하는 두께로 상기 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0155] 실시예 AZ. 실시예 A 내지 실시예 AY 중 어느 하나에 있어서, 상기 케이싱 내의 액추에이터에 인접하여 그 뒤에 후면 재료를 삽입하는 단계; 내부 전도성 부분 및 외부 전도성 부분을 갖는 전도성 링 요소를 상기 후면 재료의 주변부 주위에 그리고 상기 액추에이터와 접한 케이싱 내로 삽입하는 단계; 상기 액추에이터의 제1 전극을 상기 전도성 링 요소의 내부 전도성 부분과 접촉시키는 단계; 및 상기 액추에이터의 제2 전극을 상기 전도성 링 요소의 외부 전도성 부분과 접촉시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0156] 실시예 BA. 실시예 A 내지 실시예 AZ 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈에 인접한 상기 헤드 요소의 주변부에 감쇠 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0157] 실시예 BB. 실시예 A 내지 실시예 BA 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈에 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하되, 상기 매칭 층은 상기 변환기 헤드의 제1 음향 임피던스보다 작은 매칭 음향 임피던스를 갖는, 방법.
- [0158] 실시예 BC. 유체 불투과성 초음파 변환기를 형성하는 방법으로서, 상기 방법은, 변환기 헤드 요소를 정의하는 내부 공동 및 제1 개방 말단을 갖는 실질적인 중공형 케이싱을 유체 불투과성 재료로부터 형성하는 단계; 초점을 향해 초음파를 집속시키도록 구성된 집속 렌즈를 상기 헤드 요소의 전면 상에 형성하는 단계; 상기 전면에 대향하는 상기 변환기 헤드의 후면에 액추에이터를 접합하는 단계(상기 액추에이터는, 상기 집속 렌즈의 기계적 조화 진동을 발생시키도록 작동 가능하여 초음파가 상기 집속 렌즈로부터 초점을 향해 방출되도록 함)을 포함하는, 방법.
- [0159] 실시예 BD. 실시예 BC에 있어서, 상기 집속 렌즈를 형성하는 단계는 상기 헤드 요소의 전면으로부터 재료를 제거하는 단계를 포함하는, 방법.
- [0160] 실시예 BE. 실시예 A 내지 실시예 BD 중 어느 하나에 있어서, 상기 케이싱 내의 액추에이터에 인접하여 그 뒤에 후면 재료를 삽입하는 단계; 및 상기 밀봉재로 상기 케이싱의 내부 공동의 나머지를 실질적으로 충진하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0161] 실시예 BF. 실시예 BE에 있어서, 내부 전도성 부분 및 외부 전도성 부분을 갖는 전도성 링 요소를 상기 후면 재료의 주변부 주위에 그리고 상기 액추에이터와 접한 케이싱 내로 삽입하는 단계; 상기 액추에이터의 제1 전극을 상기 전도성 링 요소의 내부 전도성 부분과 접촉시키는 단계; 및 상기 액추에이터의 제2 전극을 상기 전도성 링 요소의 외부 전도성 부분과 접촉시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0162] 실시예 BG. 실시예 A 내지 실시예 BF 중 어느 하나에 있어서, 매칭 층을 상기 집속 렌즈에 적용하는 단계를 추가로 포함하되, 상기 매칭 층은 식 $Z_m = \sqrt{(Z_1 Z_c)}$ (여기서, Z_1 는 상기 헤드 요소에 대응하는 제1 음향 임피던스이고 Z_c 는 매질에 대응하는 제2 음향 임피던스임)에 따른 Z_m 에 대응하는 매칭 음향 임피던스를 갖는 재료를 포함하는, 방법.
- [0163] 실시예 BH. 실시예 BG에 있어서, 상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배의 두께로 맞추기 위해 상기 매칭 층의 두께를 감소시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0164] 실시예 BI. 실시예 BG에 있어서, 상기 매칭 층을 통과하는 공칭 주파수에서 음향 신호의 1/4 파장의 홀수 배에 해당하는 두께로 상기 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0165] 실시예 BJ. 실시예 A 내지 실시예 BI 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈에 인접한 상기 헤드 요소의 주변

부에 감쇠 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

[0166] 실시예 BK. 실시예 A 내지 실시예 BJ 중 어느 하나에 있어서, 상기 집속 렌즈에 매칭 층을 적용하는 단계를 추가로 포함하되, 상기 매칭 층은 상기 변환기 헤드의 제1 음향 임피던스보다 작은 매칭 음향 임피던스를 갖는, 방법.

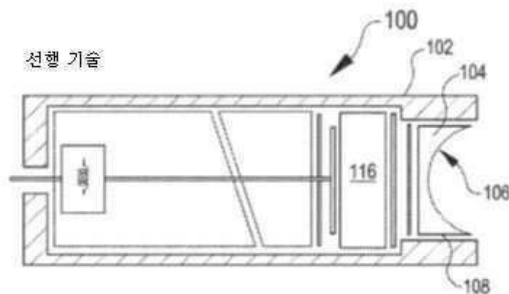
[0167] 실시예 BL. 유체 저장조로부터 액적을 분출하는 방법으로서, 상기 방법은, 실시예 A 내지 실시예 AR 중 임의의 변환기를 포함한 유체 불투과성 변환기를 이용해, 음향 에너지를 상기 변환기에서 상기 저장조로 커플링하기 위해 위치한 상기 집속 렌즈를 음향 매질에 침지시키는 단계; 상기 저장조의 유체 표면으로부터 액적을 분출하도록 구성된 주파수에서 상기 액추에이터에 의해 음향 펄스를 발생시키는 단계; 및 상기 음향 펄스를 상기 액추에이터에서 상기 집속 렌즈를 통해 상기 유체 저장조로 통과시키는 단계를 포함하는, 방법.

[0168] 실시예 BM. 구조물의 초음파 테스트를 수행하는 방법으로서, 상기 방법은, 실시예 A 내지 실시예 AR 중 임의의 변환기를 포함한 유체 불투과성 변환기를 이용해, 상기 구조물과 유체 접촉하는 음향 매질에 상기 집속 렌즈를 침지시키는 단계; 상기 액추에이터에 의해 음향 펄스를 생성해 상기 구조물의 스캔 부위로 유도하는 단계; 상기 스캔 부위에 해당하는 음향 펄스의 에코를 수신하는 단계; 및 상기 에코의 특징에 기초하여 상기 구조물의 스캔 부위의 물리적 파라미터를 결정하는 단계를 포함하는, 방법.

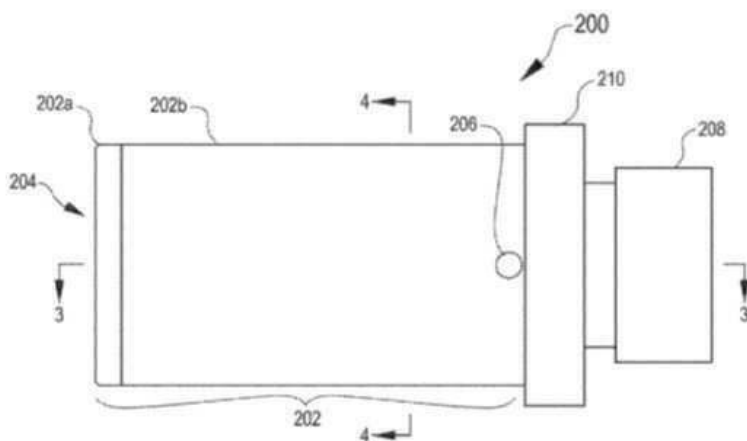
[0169] 도면에 나타내거나 전술된 구성 요소의 상이한 배열뿐만 아니라 나타내지 않거나 설명되지 않은 구성 요소 및 단계도 가능하다. 유사하게, 일부 특징부와 하위 조합은 유용하며, 다른 특징부 및 하위 조합을 참조하지 않고 사용될 수 있다. 본 발명의 구현에는 예시적인 것으로 설명되며 제한적인 목적을 위해 설명되지 않았고, 대안적인 구현에는 본 특허를 읽은 자에게 명백해질 것이다. 따라서, 본 발명은 전술하거나 도면에 나타난 구현에 제한되지 않고, 아래의 청구범위의 범주를 벗어나지 않는다면 다양한 구현에 및 변형예를 만들 수 있다.

도면

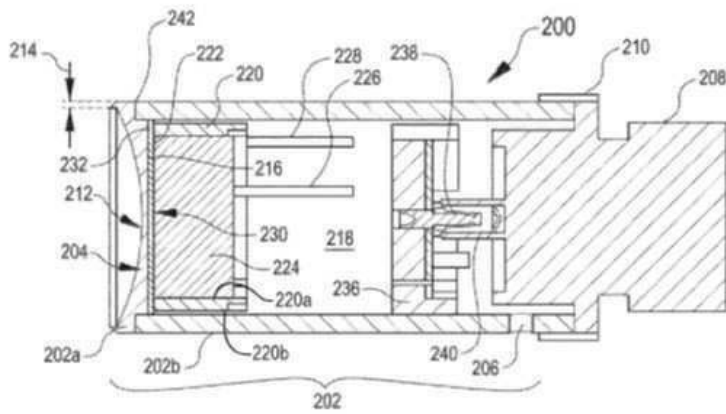
도면1



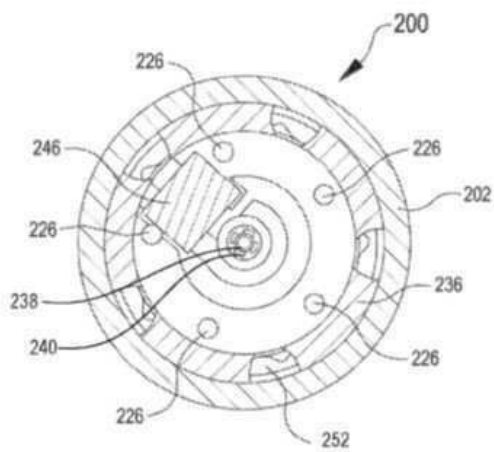
도면2



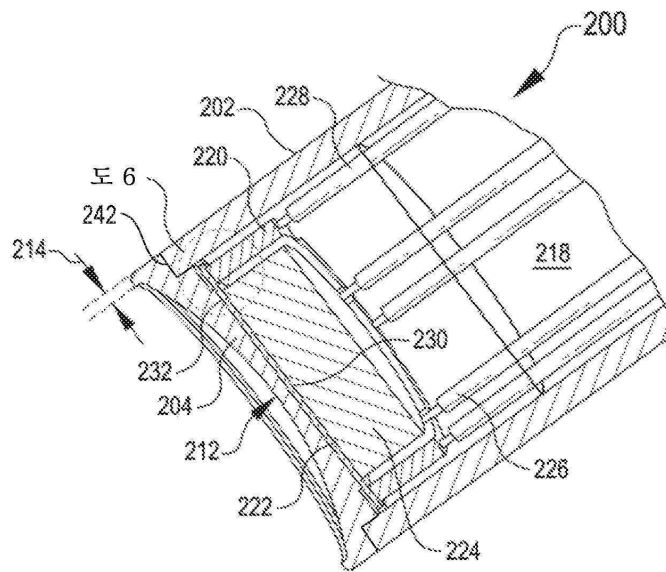
도면3



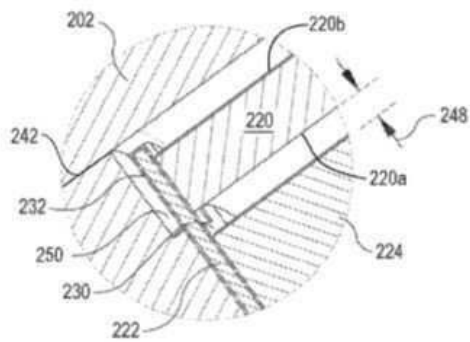
도면4



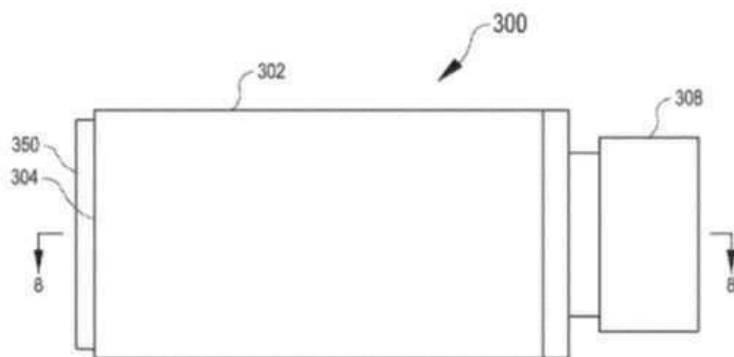
도면5



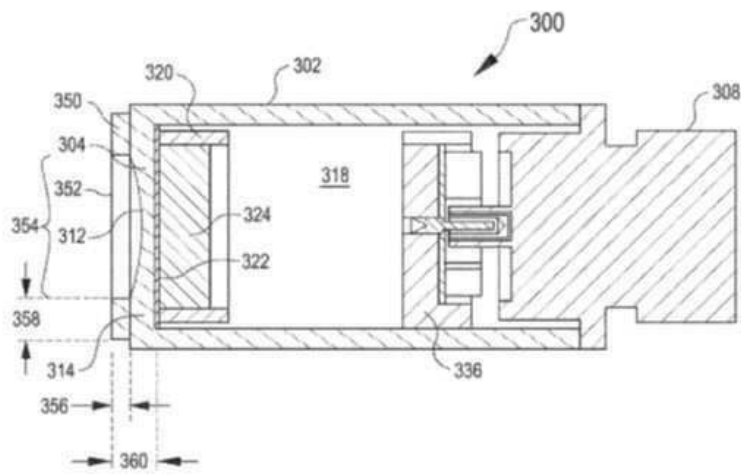
도면6



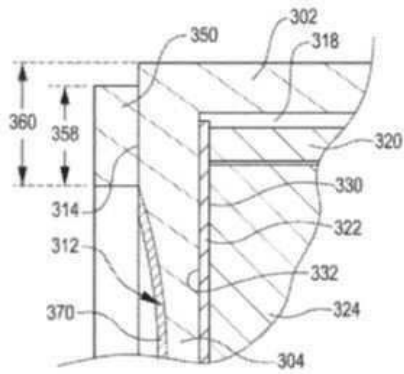
도면7



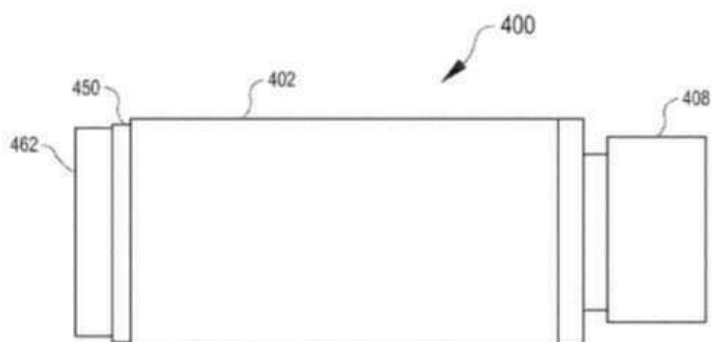
도면8



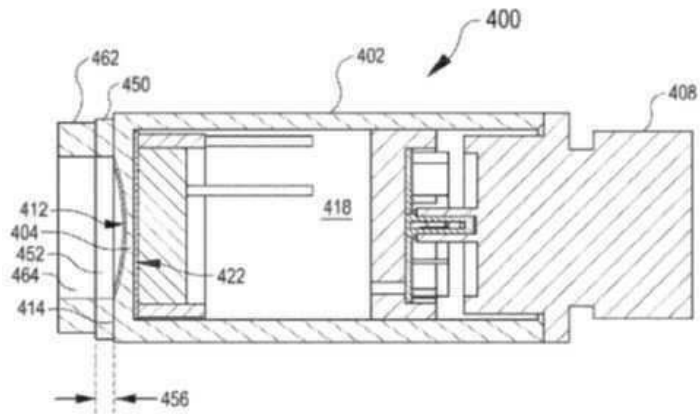
도면9



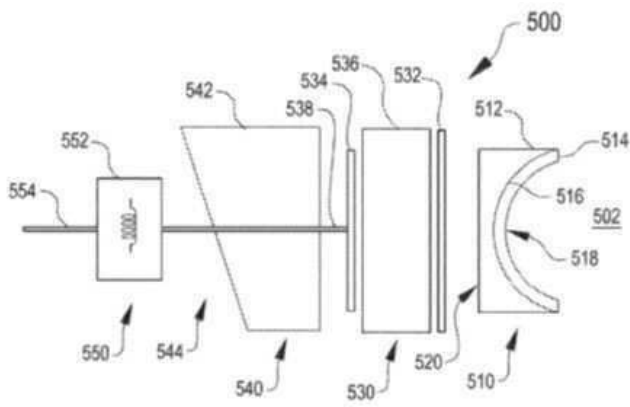
도면10



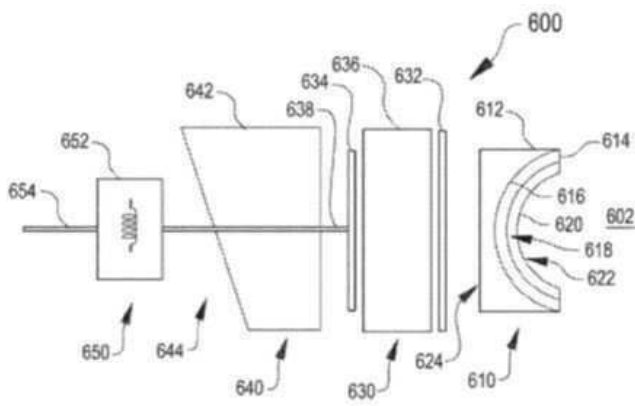
도면11



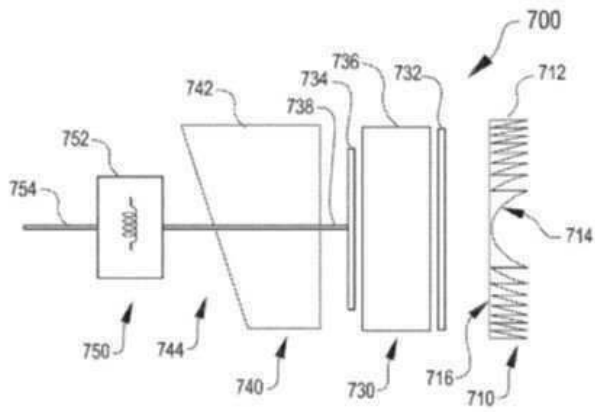
도면12



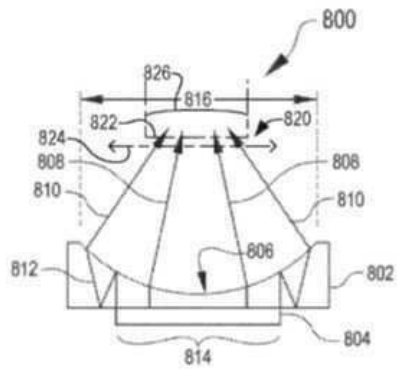
도면13



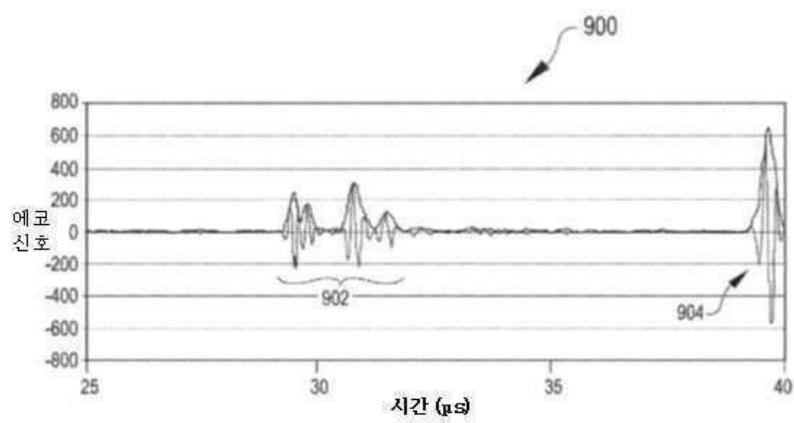
도면14



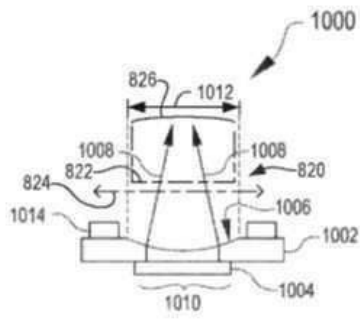
도면15



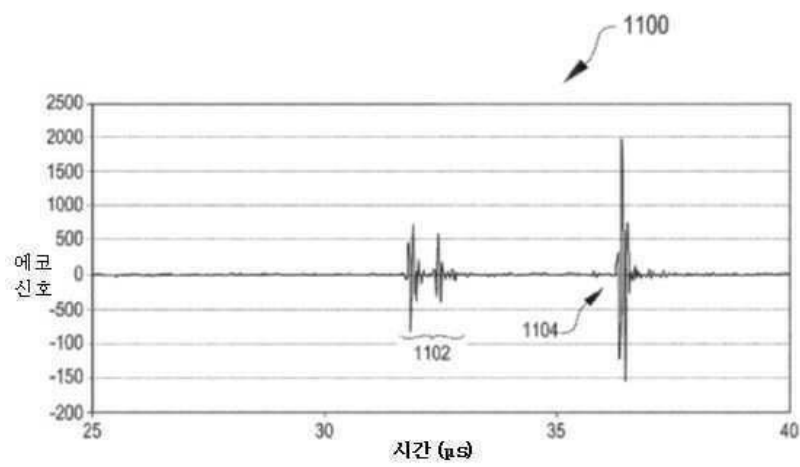
도면16



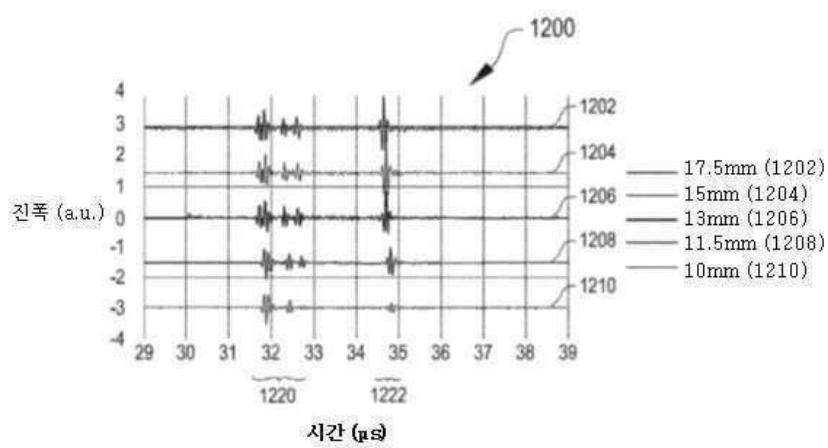
도면17



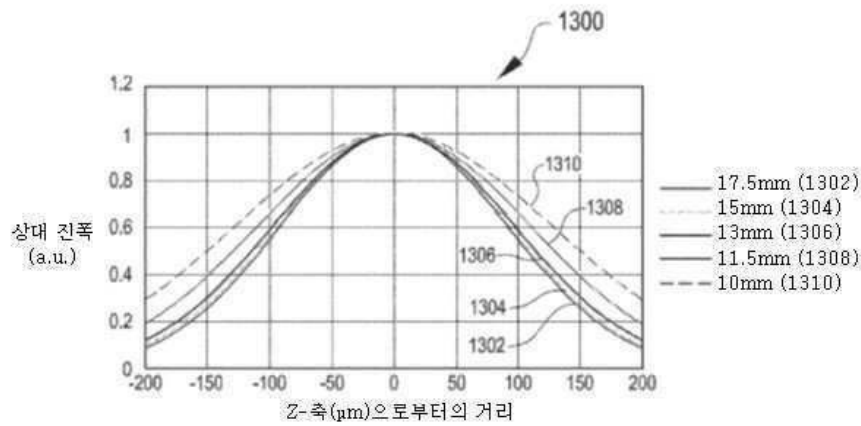
도면18



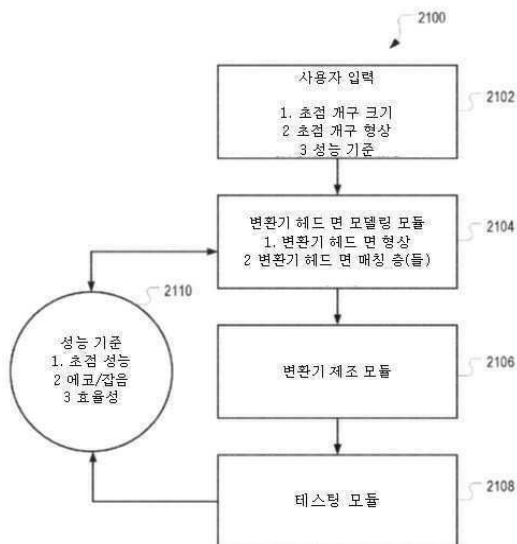
도면19



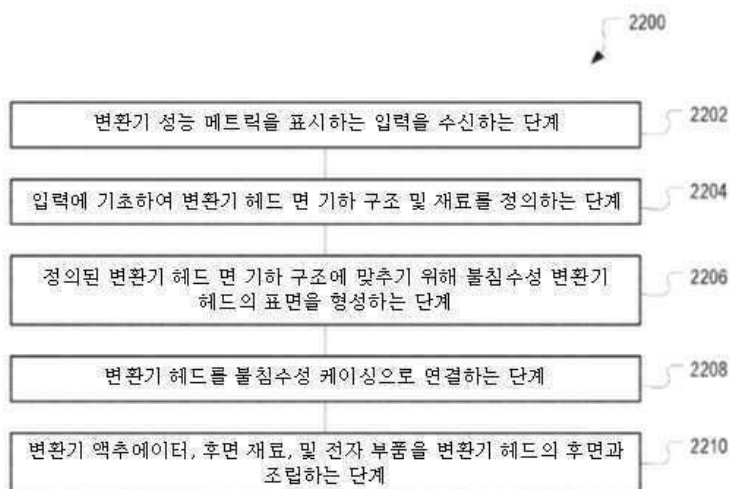
도면20



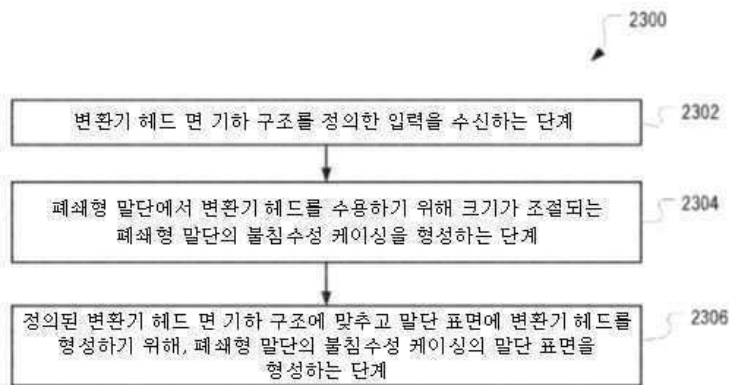
도면21



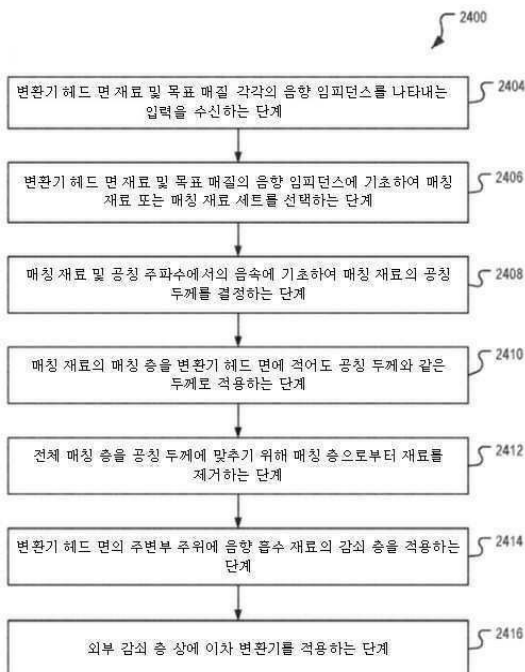
도면22



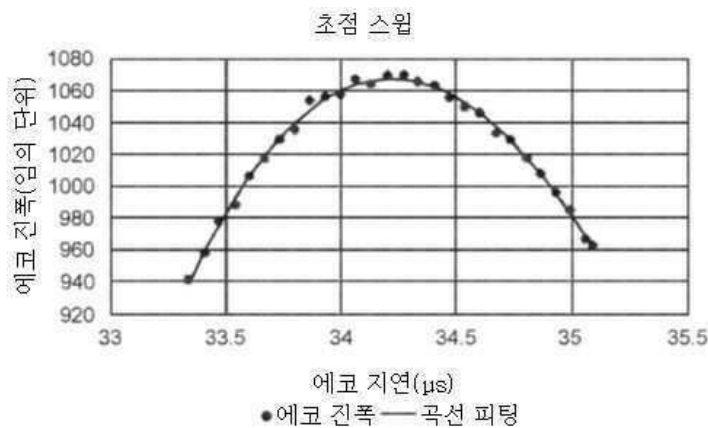
도면23



도면24



도면25



도면26

