



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0090545
(43) 공개일자 2022년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B06B 1/06 (2006.01) G01S 15/10 (2006.01)
G01S 15/89 (2006.01) G01S 15/93 (2020.01)
G01S 7/52 (2006.01) G01S 7/521 (2006.01)
G01S 7/527 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B06B 1/0629 (2013.01)
G01S 15/102 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-7017145
(22) 출원일자(국제) 2022년10월26일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2022년05월20일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2020/052712
(87) 국제공개번호 WO 2021/079160
국제공개일자 2021년04월29일
(30) 우선권주장
1915544.9 2019년10월25일 영국(GB)

(71) 출원인
신테프 또 에이에스
노르웨이 엔-7465 트론드하임 포스트박스 4764 슬루펜
(72) 발명자
타이홀트트, 프로드
노르웨이, 7465 트론드하임, 포스트박스 4764 슬루펜, 신테프 또 에이에스 내
보글, 안드레아스
노르웨이, 7465 트론드하임, 포스트박스 4764 슬루펜, 신테프 또 에이에스 내
다홀, 토비아스
노르웨이, 7465 트론드하임, 포스트박스 4764 슬루펜, 신테프 또 에이에스 내
(74) 대리인
양기혁

전체 청구항 수 : 총 23 항

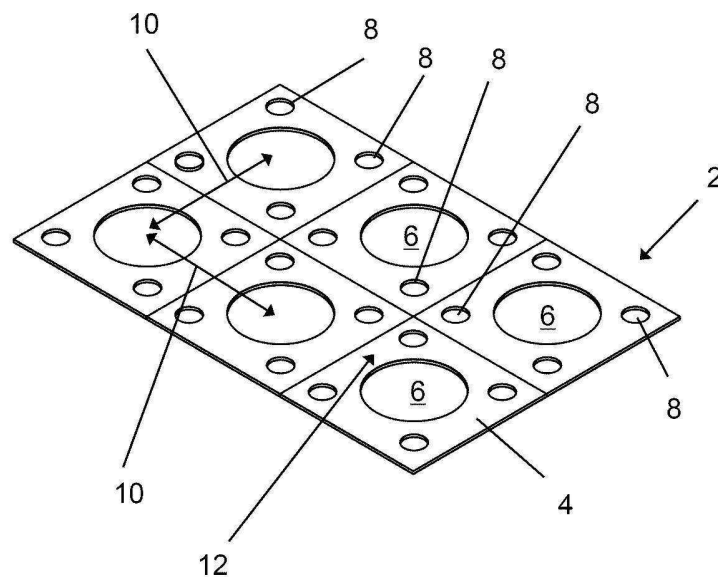
(54) 발명의 명칭 초음파 변환기

(57) 요약

단일 공통 반도체 다이 상에 전용 초음파 송신기 및 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 포함하는 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)가 제공된다. 복수의 PMUT가 모자이크식의 어레이로 배열될 수 있다.

단일 공통 반도체 다이 상의 적어도 하나의 PMUT, 제1 초음파 신호를 전송하도록 구성된 전용 초음파 송신기, 및 (뒷면에 계속)

대표도 - 도5



제2 초음파 신호를 수신하도록 구성된 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 포함하는 시스템이 또한 개시된다. 이 시스템은, 아날로그 도메인; 디지털 도메인; 디지털-아날로그 변환기; 및 아날로그-디지털 변환기를 포함하는 신호 처리 서브시스템을 더 포함한다. 신호 처리 서브시스템은 상기 디지털 도메인에서 추정된 직접 경로 신호를 생성하고, 상기 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 상기 추정된 직접 경로 신호를 아날로그 추정된 직접 경로 신호로 변환하고, 상기 제2 초음파 신호에서 상기 아날로그 추정된 직접 경로 신호를 감산하여 수정된 수신 신호를 생성하고, 상기 아날로그-디지털 변환기를 사용하여 상기 수정된 수신 신호를 디지털 수정된 수신 신호로 변환하도록 구성된다.

(52) CPC특허분류

G01S 15/8913 (2013.01)

G01S 15/8915 (2013.01)

G01S 15/93 (2013.01)

G01S 7/52004 (2013.01)

G01S 7/5202 (2013.01)

G01S 7/52026 (2013.01)

G01S 7/52079 (2013.01)

G01S 7/521 (2021.01)

G01S 7/527 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

단일 공통 반도체 다이 상에 전용 초음파 송신기 및 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 포함하는, 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT).

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 다이는 정사각형 또는 직사각형인, 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT).

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 초음파 송신기는 상기 다이의 실질적으로 중심에 위치되고, 상기 초음파 수신기(들)는 상기 다이의 실질적으로 코너 또는 각 코너에 위치된, 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT).

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 다이의 각 코너의 하나의 초음파 수신기를 포함하는, 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT).

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 초음파 송신기는 상기 초음파 수신기의 폭보다 적어도 2배 큰 폭을 갖는, 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT).

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 초음파 송신기는 주 파장을 갖는 신호를 전송하도록 구성되고, 상기 반도체 다이는 상기 주 파장의 절반과 실질적으로 동일한 폭을 갖는, 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT).

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 초음파 송신기와 상기 초음파 수신기 사이에 배열된 하나 이상의 음향 경로 장벽을 포함하는, 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT).

청구항 8

배열체로서, 상기 배열체는 제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 PMUT를 복수 개 포함하고, 상기 복수 개의 PMUT는 모자이크식의 어레이로 배열된, 배열체.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 어레이는 직사각형 어레이인, 배열체.

청구항 10

초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템으로서, 제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 따른 적어도 하나의 PMUT, 상기 초음파 송신기를 구동하도록 구성된 송신기 회로, 및 상기 초음파 수신기로부터의 신호를 검출하도록 구성된 수신기 회로를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서, 수신된 신호로부터 직접 경로 신호를 감산하여 수정된 수신 신호를 생성하도록 구성된, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서, 디지털로의 변환 전에 아날로그 수신된 신호로부터 상기 직접 경로 신호를 감산하여 수정된 아날로그 수신 신호를 생성하도록 구성된, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템.

청구항 13

제10항 내지 제12항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 시스템은 상기 전용 초음파 송신기로부터 제1 초음파 신호를 전송하도록 구성되고, 상기 전용 초음파 수신기로부터 제2 초음파 신호를 수신하도록 구성되고, 신호 처리 서브시스템을 더 포함하고, 상기 신호 처리 서브시스템은:

아날로그 도메인;

디지털 도메인;

디지털-아날로그 변환기; 및

아날로그-디지털 변환기를 포함하고,

상기 신호 처리 서브시스템은 상기 디지털 도메인에서 추정된 직접 경로 신호를 생성하고, 상기 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 상기 추정된 직접 경로 신호를 아날로그 추정된 직접 경로 신호로 변환하고, 상기 제2 초음파 신호에서 상기 아날로그 추정된 직접 경로 신호를 감산하여 수정된 수신 신호를 생성하고, 상기 아날로그-디지털 변환기를 사용하여 상기 수정된 수신 신호를 디지털 수정된 수신 신호로 변환하도록 구성된, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템.

청구항 14

적어도 하나의 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)를 포함하는 시스템으로서, 상기 PMUT는 단일 공통 반도체 다이 상에, 제1 초음파 신호를 전송하도록 구성된 전용 초음파 송신기 및 제2 초음파 신호를 수신하도록 구성된 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 포함하고, 신호 처리 서브시스템도 또한 포함하며, 상기 신호 처리 서브시스템은:

아날로그 도메인;

디지털 도메인;

디지털-아날로그 변환기; 및

아날로그-디지털 변환기를 포함하고,

상기 신호 처리 서브시스템은 상기 디지털 도메인에서 추정된 직접 경로 신호를 생성하고, 상기 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 상기 추정된 직접 경로 신호를 아날로그 추정된 직접 경로 신호로 변환하고, 상기 제2 초음파 신호에서 상기 아날로그 추정된 직접 경로 신호를 감산하여 수정된 수신 신호를 생성하고, 상기 아날로그-디지털 변환기를 사용하여 상기 수정된 수신 신호를 디지털 수정된 수신 신호로 변환하도록 구성된, 적어도 하나의 압전 미세 가공 초음파 변환기를 포함하는 시스템.

청구항 15

제13항 또는 제14항에 있어서, 상기 송신기로부터 상기 수신기의 상기 직접 경로 신호를 레코딩하여 직접 경로 신호의 데이터베이스를 생성하도록 구성된, 적어도 하나의 압전 미세 가공 초음파 변환기를 포함하는 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 데이터베이스로부터 상기 추정된 직접 경로 신호를 선택하도록 구성된, 적어도 하나의 압전 미세 가공 초음파 변환기를 포함하는 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 시스템은 상기 디지털 수정된 수신 신호의 품질 파라미터를 모니터링하고, 상기 품질 파라미터에 기반하여, 상기 추정된 직접 경로 신호를 사용하는 것; 상기 추정된 직접 경로 신호를 수정하는 것;

상기 데이터베이스로부터 새로운 추정된 직접 경로 신호를 선택하는 것; 또는 상기 초음파 송신기에서 상기 초음파 수신기로의 하나 이상의 새로운 직접 경로 신호를 레코딩하는 것 중 하나를 수행하도록 구성된, 적어도 하나의 압전 미세 가공 초음파 변환기를 포함하는 시스템.

청구항 18

제10항 내지 제17항 중 어느 한 항에 따른 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법으로서, 동작 기간의 적어도 일부 동안 초음파 송신기로부터 신호를 전송하고 이와 동시에 초음파 수신기를 사용하여 신호를 수신하는 단계를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 19

제10항 내지 제17항 중 어느 한 항에 따른 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법으로서, 반도체 다이의 폭의 실질적으로 2배인 주 파장을 갖는 초음파 송신기로부터 신호를 전송하는 단계를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 20

제10항 내지 제17항 중 어느 한 항에 따른 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법으로서, 초음파 송신기로부터 신호를 주기적으로 전송하는 단계를 포함하고, 각 전송 주기는 0.1 밀리초보다 긴, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 21

단일 공통 반도체 다이 상의 전용 초음파 송신기 및 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 각각이 포함하는 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)들의 비평면 어레이를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법으로서, 상기 비평면 어레이의 상기 PMUT들 중 제1 PMUT의 송신기로부터 하나 이상의 신호를 전송하는 단계, 상기 비평면 어레이의 상기 PMUT들 중 제2 PMUT의 적어도 하나의 수신기를 사용하여 상기 신호(들)를 수신하는 단계, 및 상기 수신된 신호를 사용하여 상기 제1 PMUT와 상기 제2 PMUT의 상호 상대 위치를 결정하는 단계를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 제1 PMUT 및 제2 PMUT 상의 하나 이상의 수신기에 의해 수신된 신호의 후속 신호 처리에 상기 상호 상대 위치를 사용하는 단계를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 23

단일 공통 반도체 다이 상의 전용 초음파 송신기 및 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 각각이 포함하는 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)의 비평면 어레이를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템으로서, 제21항 또는 제22항의 방법을 수행하도록 구성된, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초음파 변환기, 즉 인간이 들을 수 있는 것보다 높은 주파수를 갖는 음파를 발생시키고 수신하는 장치에 관한 것이다. 이러한 장치는 초음파 신호 전송과 반사된 반향 신호 수신 사이의 시간을 측정하여 물체까지의 거리를 추정할 수 있는 간단한 거리 측정 응용 분야에서부터 복잡한 의료 영상 응용 분야에 이르기까지의 다양한 응용 분야에서 사용될 수 있다.

배경 기술

[0002] 많은 응용 분야에서 변환기를 가능한 한 작게 만드는 것이 중요한데, 그 이유는 변환기가 소형 장치에 체결되어야 하거나 대형 어레이가 사용될 수 있도록 하기 때문이다. 이러한 목적을 위해 개발된 하나의 기술은 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT: piezoelectric micro-machined ultrasonic transducer)에 대한 기술이며, 여기서 각 PMUT 요소는 일반적으로 적절한 회로부에 연결될 때 송신기 및 수신기 모두로서 작용한다.

[0003] PMUT가 소형 초음파 변환기를 생산하는 목적을 달성하지만, 본 출원인은 이와 연관된 단점이 있다는 것을 인식했다.

발명의 내용

[0004] 제1 양태에서 볼 때, 본 발명은 단일 공통 반도체 다이 상에 전용 초음파 송신기 및 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 포함하는 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)를 제공한다.

[0005] 본 발명은 본원에 기술된 바와 같은 적어도 하나의 PMUT, 상기 초음파 송신기를 구동하도록 구성된 송신기 회로, 및 상기 초음파 수신기로부터의 신호를 검출하도록 구성된 수신기 회로를 포함하는, 초음파 신호를 송신 및 수신하기 위한 시스템으로 확장된다.

[0006] 따라서, 본 발명에 따르면, 단일 다이가 개별 전용 송신기 및 수신기를 갖는다는 것을 본 기술 분야의 기술자는 알 수 있을 것이다. 이것은, 동일한 요소가 송신기와 수신기 모두로 작용하는 경우, 신호가 일반적으로 매우 짧고 날카로우며 고전력인 버스트 모드에서 전송되어야 한다는 점에서, 출원인에 의해 식별된 선행 기술 접근 방식의 단점 중 하나를 해결하고 있다.

[0007] 송신기 및 수신기 모두로서 작용하는 요소가 인근 물체에서 반사된 신호를 캡처하기 위해 전송에서 수신으로 전환할 수 있도록 하는 짧은 버스트가 필요하다. 적절한 분해능을 제공하기 위한 적절한 에너지가 전송되도록 하려면 버스트의 전력이 비교적 높아야 한다. 이는 송신기로서 작용하는 요소 사이를 전환하는 데 관련 전자 장치가 필요하다는 것을 의미하며 그리고 이들 관련 전자 장치는 버스트 전송의 고전력 출력에 대처해야 하기 때문에 복잡하다는 것을 의미한다.

[0008] 대조적으로, 본 발명에 따르면, 단일 반도체 다이 상에 전용 송신기 및 전용 수신기(들)를 모두 갖추게 되면 신호의 동시 전송 및 수신에 가능하여 스위칭 전자 장치가 불필요하다. 이것은 시스템 전자 장치의 복잡성을 감소시킬 수 있다. 더욱이 주어진 전송 에너지는 보다 길고 낮은 전력 전송으로 달성될 수 있어, 송신기 자체 및 구동 회로부에 대한 요구를 감소시키는데, 이는 버스트 전송에 필요한 전력용 전자 장치를 만들 필요가 없기 때문이다. 또한, 이는 수신기에서 '블랭킹 기간', 즉 수신기가 '정지'되는 시간 창을 종종 피할 수 있음을 의미하는데, 이는 수신기가 그 때 송신기로서 작용을 하기 때문이다. 이는, 결국에 가서는, 기존의 스위칭 시스템으로는 설정된 센서/송신기에 아주 가까운 물체까지의 거리를 측정하기가 어렵다는 것을 의미한다. 보다 길고 낮은 전력 전송이 사용되는 경우, 수신기는 전송이 진행되는 동안 '수신'할 수 있고, 송신기와 수신기 사이의 반향 및 직접 경로 소리의 중첩을 포착할 수 있다. 이를 통해 인근 물체를 검출하고 이미징할 수 있다.

[0009] 예를 들어, 100 kHz 시스템의 경우, 매초마다 전송되는 100개의 신호, 예컨대, 처프(chirp)가 있을 수 있다. 이러한 처프 각각은 전체 기간에 걸쳐, 즉 최대 1/100 초 또는 10 ms에 걸쳐 있을 수 있다. 그러나, 이는 더 짧을 수도 있지만, 의미 있는 코드, 즉 스파이크 또는 버스트뿐만이 아닌 의미 있는 코드를 생성하려면 이 기간의 적어도 1/100 또는 0.1 ms은 채워야 할 것으로 생각된다. 예를 들어 200kHz 샘플링 주파수를 사용하는 경우, 이는 $200,000 \times 0.0001$ 초 또는 20개의 샘플에 해당한다. 20개 샘플보다 짧은 코드는 처프와 같은 유용한 실제 코딩된 신호보다는 버스트에 더 유사할 것이다. 코드는 또한 바람직하게는 20개 샘플보다 더 길 수 있거나, 즉 50개 샘플 또는 100개 샘플일 수 있거나, 또는 응용 분야가 덜 고속인 추적을 필요로 하는 경우에는 더 길 수도 있다. 주로 느리게 움직이는 물체를 다루는 모션 추적 시스템의 경우, 30 Hz의 프레임 레이트가 충분할 수 있고, 이는 300 ms가 양호한 처프 길이임을 의미한다.

[0010] 일군의 실시예에서, 직접 경로 신호는 수신된 신호로부터 감산되어 수정된 수신 신호를 생성하게 된다. 직접 경로 신호는 관심 물체에서 반사되지 않고 초음파 송신기에서 초음파 수신기로 직접 이동하는 신호이다. 직접 경로 신호는 공기 중 직접 음향 경로 신호, 및/또는 반도체 다이를 통해 송신기에서 수신기로 직접 전송되는 신호를 포함할 수 있다. 직접 경로 신호의 감산은, 예컨대, 적절한 디지털 신호 프로세서를 사용하여, 아날로그-디지털 변환을 거친 디지털 수신 신호에 대해 수행될 수 있다.

[0011] 그러나, 본 출원인은 이 접근 방식의 단점을 인식했다. 일반적으로, 직접 경로 신호는 관심 물체로부터 수신된 원하는 반사 신호보다 훨씬 강하다. 이와 같이, 초음파 수신기로부터 수신된 신호가 아날로그-디지털(A/D) 변환기에 의해 아날로그-디지털 변환을 거치게 될 경우, A/D 변환기는 원하는 수신 신호, 즉 관심 물체로부터의 반사 신호뿐만 아니라 보다 더 강한 직접 경로 신호 모두를 변환하도록 높은 동적 범위를 필요로 한다. 높은 동적 범위의 A/D 변환기, 즉 포화를 피하기 위해 충분한 비트 분해능을 갖는 변환기는 더 복잡하고, 따라서 더 비싸고 더 많은 전력을 사용하므로, 바람직하지 않다.

- [0012] 따라서, 일군의 실시예에서, 직접 경로 신호는, 디지털로 변환되기 전에, 아날로그 수신 신호로부터 감산되어, 수정된 수신 신호를 생성하게 된다. 그 후 이것은 디지털 수정된 수신 신호로 변환될 수 있다. 수정된 수신 신호가 직접 경로 신호를 포함하지 않기 때문에, A/D 변환기는 따라서 그러한 높은 동적 범위를 필요로 하지 않을 수 있으며, 따라서 비교적 간단하고 저렴할 수 있다.
- [0013] 이러한 일군의 실시예에서, 전용 초음파 송신기는 제1 초음파 신호를 전송하도록 구성되고, 전용 초음파 수신기는 제2 초음파 신호를 수신하도록 구성되고, 시스템은 신호 처리 서브시스템을 더 포함하고, 상기 신호 처리 서브시스템은:
- [0014] 아날로그 도메인;
- [0015] 디지털 도메인;
- [0016] 디지털-아날로그 변환기; 및
- [0017] 아날로그-디지털 변환기를 포함하고,
- [0018] 여기서, 상기 신호 처리 서브시스템은 상기 디지털 도메인에서 추정된 직접 경로 신호를 생성하고, 상기 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 상기 추정된 직접 경로 신호를 아날로그 추정된 직접 경로 신호로 변환하고, 상기 제2 초음파 신호에서 상기 아날로그 추정된 직접 경로 신호를 감산하여 수정된 수신 신호를 생성하고, 상기 아날로그-디지털 변환기를 사용하여 상기 수정된 수신 신호를 디지털 수정된 수신 신호로 변환하도록 구성된다.
- [0019] 그러한 구성은 그 자체로 참신하고 독창적이다. 따라서, 추가적인 양태에서 볼 때, 본 발명은 적어도 하나의 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)를 포함하는 시스템을 제공하며, 상기 PMUT는 단일 공통 반도체 다이 상에, 제1 초음파 신호를 전송하도록 구성된 전용 초음파 송신기 및 제2 초음파 신호를 수신하도록 구성된 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 포함하며, 상기 시스템은 신호 처리 서브시스템을 더 포함하고, 상기 신호 처리 서브시스템은:
- [0020] 아날로그 도메인;
- [0021] 디지털 도메인;
- [0022] 디지털-아날로그 변환기; 및
- [0023] 아날로그-디지털 변환기를 포함하고,
- [0024] 여기서, 상기 신호 처리 서브시스템은 상기 디지털 도메인에서 추정된 직접 경로 신호를 생성하고, 상기 디지털-아날로그 변환기를 사용하여 상기 추정된 직접 경로 신호를 아날로그 추정된 직접 경로 신호로 변환하고, 상기 제2 초음파 신호에서 상기 아날로그 추정된 직접 경로 신호를 감산하여 수정된 수신 신호를 생성하고, 상기 아날로그-디지털 변환기를 사용하여 상기 수정된 수신 신호를 디지털 수정된 수신 신호로 변환하도록 구성된다.
- [0025] 따라서, 본 발명의 진술한 실시예 및 양태에 따르면, 직접 경로 신호의 추정치는 디지털 도메인에서 계산될 수 있지만 앞에서 설명한 A/D 변환기에 필요한 동적 범위를 제한하기 위해 아날로그 도메인에서 감산될 수 있음을 알 수 있을 것이다.
- [0026] 일군의 실시예에서, 송신기로부터 수신기로의 직접 경로 신호는, 예컨대, 디지털 도메인에서, 직접 경로 신호의 데이터베이스를 생성하기 위해 레코딩된다. 이것은, 예컨대, 수신 신호를 시간 게이팅(time-gating)하여, 환경으로부터의 반사 신호를 배제하도록 수행될 수 있다. 직접 경로 신호는 보다 신뢰할 수 있는 직접 경로 신호 측정치 데이터베이스를 생성하기 위해 일정 기간 동안 레코딩될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 직접 경로 신호는 가변적인 온도와 같은 서로 다른 환경 조건 하에서 레코딩될 수 있다. 일군의 실시예에서, 추정된 직접 경로 신호는 데이터베이스로부터 선택된다. 추정된 신호는 어렵직잡일 수 있거나, 직접 경로 신호 데이터베이스 생성에 사용되는 온도 센서와 같은 환경 센서로부터의 입력에 따라 선택될 수 있다.
- [0027] 일군의 실시예에서, 디지털 수정된 수신 신호의 품질 파라미터가 모니터링된다. 이것은 수신된 신호로부터의 감산을 위한 추정된 직접 경로 신호가 양호한 선택이었는지의 여부를 나타낼 수 있다. 품질 파라미터의 예는 최소 에너지로서, 이는 직접 경로인 가장 강한 성분이 수신된 신호로부터 제거된 정도를 나타낼 수 있다. 품질을 모니터링하는 데 사용될 수 있는 또 다른 파라미터는 희박도(sparsity)이며, 신호의 최대 희박도는 "명확한 반향"이 수신되고 있음을 나타내는 것이다.
- [0028] 일군의 실시예에서, 품질 파라미터가 제1 임계치를 초과하는 경우 추정된 직접 경로 신호는 수정된다. 예를 들

어, 필터는 직접 경로 추정치에 대해 컨볼루션을 적용할 수 있다.

[0029] 일군의 실시예에서, 품질 파라미터가 제2 임계치 미만인 경우 직접 경로 신호의 새로운 데이터베이스를 생성하기 위해 초음파 송신기로부터 초음파 수신기로의 새로운 직접 경로 신호가 레코딩된다. 매우 불량한 품질은 송신기의 동작이나 주변 환경에 상당한 변화가 있음을 나타낼 수 있다. 일군의 실시예에서, 품질 파라미터가 제2 임계치를 초과하지만 제1 임계치 미만인 경우, 새로운 추정된 직접 경로 신호가 데이터베이스로부터 선택된다.

[0030] 따라서, 일군의 실시예에서, 시스템은 디지털 수정된 수신 신호의 품질 파라미터를 모니터링하고, 품질 파라미터에 기반하여, 추정된 직접 경로 신호를 사용하는 것; 추정된 직접 경로 신호를 수정하는 것; 데이터베이스로부터 새로운 추정된 직접 경로 신호를 선택하는 것; 또는 초음파 송신기에서 초음파 수신기로의 하나 이상의 새로운 직접 경로 신호를 레코딩하는 것 중 하나를 수행한다.

[0031] 따라서, 품질 파라미터가 제1 임계치를 초과하고 수신된 신호로부터의 감산을 위해 추정된 직접 경로 신호가 양호한 선택인 경우, 수신된 신호는 근접도, 존재, 또는 제스처 감지와 같은 추가 분석을 위해 사용될 수 있다.

[0032] 본 발명의 임의의 양태에 대한 일군의 실시예에서, PMUT는 초음파 송신기와 초음파 수신기 사이에 배열된 하나 이상의 음향 경로 장벽을 포함한다. 이러한 음향 경로 장벽은 송신기와 수신기 요소 사이의 신호의 공기 전송을 손상시켜 공기 중 직접 음향 경로 신호의 강도를 물리적으로 감소시키는 역할을 할 수 있다.

[0033] 또 다른 양태에서 볼 때, 본 발명은 본원에 기술되는 바와 같은 적어도 하나의 PMUT를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법을 제공하는 바, 이 방법은 동작 기간의 적어도 일부 동안 상기 초음파 송신기로부터 신호를 전송하고 이와 동시에 상기 초음파 수신기를 사용하여 신호를 수신하는 단계를 포함한다.

[0034] 추가 양태에서 볼 때, 본 발명은 본원에 기술되는 바와 같은 적어도 하나의 PMUT를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법을 제공하는 바, 이 방법은 상기 초음파 송신기로부터 신호를 주기적으로 전송하는 단계를 포함하고, 여기서 각각의 전송 주기는 0.1 밀리초보다 길며, 예컨대, 0.2 밀리초보다 길다.

[0035] 일군의 실시예에서, 코딩된 전송이 사용된다. 이를 통해 수신기는 신호의 일부가 전송된 시간을 구별할 수 있고, 따라서 물체에서 반사된 신호가 이동한 거리를 계산할 수 있다. 코딩된 전송의 한 가지 간단한 예는 처프, 예컨대, 지속적으로 증가/감소하는 주파수 전송이다. 그런 다음, 특정 주파수의 수신 신호는 해당 신호가 처음 전송된 시점에 대한 정보를 제공하고, 해당 신호가 이동한 거리가 계산될 수 있다.

[0036] 시스템 임펄스 응답은 전송된 신호를 수신된 신호와 상관시킴으로써 수신된 처프 신호로부터 계산될 수 있거나, 또는 디컨볼루션과 같은 임펄스 응답 추정을 위한 고급 기법이 사용될 수 있다.

[0037] 구체적으로는, 전송 신호가 $s(t)$ 이면 수신 신호는 다음과 같을 것이다:

$$y(t) = h(t) * s(t) + n(t)$$

[0038] 여기서 $h(t)$ 는 채널 임펄스 응답이고, $n(t)$ 는 잡음 항이다. 그러면, 전송 신호가 대략 백색이라고 가정하면, 즉 $s(t)*s(-t) \approx \delta(t)$ (여기서 $\delta(t)$ 는 대략적인 디랙(dirac) 펄스임)라고 가정하면, 다음과 같이 임펄스 응답의 추정치를 획득할 수 있다:

$$\widehat{h(t)} = y(t) * s(-t) = h(t) * s(t) * s(-t) + n(t) * s(-t) \approx h(t) + n_2(t)$$

[0041] 여기서 $n_2(t) = s(-t) * n(t)$.

[0042] 또한, 또는 대안적으로, 디컨볼루션에 의해, 즉 신호 $s(t)$ 의 샘플에서 행렬 S 를 구성하여 다음과 같이 설정된 행렬-벡터 수학식을 구함으로써, 임펄스 응답을 계산할 수 있고:

$$y = Sh + n$$

[0044] 여기서 벡터 y 는 시계열 $y(t)$ 의 누적 샘플을 포함하고, h 는 임펄스 응답 $h(t)$ 의 누적 샘플을 포함하며, 그러면 h 를 임의의 적절한 표준 또는 제약 조건에서 설정된 이 수학식의 해로서 계산할 수 있다. 임펄스 응답은 공지된

DSP 기법을 사용하여 명확해질 수 있는 반향 및 직접 경로 신호 모두에 대한 정보를 포함하고 있다.

- [0045] 송신기 및 수신기를 제조하는 데 일반적으로 필요한 프로세스가 다르다는 관점에서는 본 기술 분야의 기술자에게 직관에 반하는 것이지만, 본 출원인은 이들 다양한 전용 요소들을 단일 공통 다이 또는 칩 상에 구비한다는 것은, 보다 작은 구역 내에 보다 많은 요소들을 허용하므로 다수의 다이들의 임의의 어레이의 크기를 줄일 수 있다는 점에서, 유리하다는 점을 인식했다. 이것은 많은 분야에서 유용하지만, 예를 들어, 보다 작은 구역에서 고해상도가 요구되는 스마트 웨어러블 분야에서 특히 유용하다.
- [0046] 다이는 임의의 편리한 형상일 수 있지만, 일군의 실시예에서 다이는 정사각형 또는 직사각형이다. 송신기는 임의의 형상일 수 있지만, 바람직하게는 원형이다. 유사하게 수신기 또는 각각의 수신기는 바람직하게는 원형이다.
- [0047] 다이 상의 송신기 및 수신기(들)의 레이아웃은 임의의 편리한 방식으로 구현될 수 있다. 일군의 실시예에서, 초음파 송신기는 실질적으로 다이의 중심에 위치되고, 초음파 수신기(들)는 실질적으로 다이의 코너 또는 각각의 코너에 위치된다. 다이가 정사각형 또는 직사각형인 일 예에서, 상기 다이의 각 코너에 하나의 초음파 수신기 - 즉, 4개의 수신기가 존재하게 됨 - 가 제공된다.
- [0048] 일군의 실시예에서, 초음파 송신기 또는 시스템은 주 파장(λ)을 갖는 신호를 전송하도록 구성되고, 상기 반도체 다이는 상기 주 파장의 절반($\lambda/2$)과 실질적으로 동일한 폭을 갖는다. 유사하게, 본 발명은 본원에 기술된 바와 같은 적어도 하나의 PMUT를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법으로 확장되며, 상기 방법은 상기 반도체 다이의 폭의 실질적으로 2배인 주 파장을 갖는 상기 초음파 송신기로부터의 신호를 전송하는 단계를 포함한다.
- [0049] 폭이 $\lambda/2$ 인 다이를 갖는 것은 본원에 기술된 종류의 복수의 다이가 모자이크식의 어레이로 배열될 때 유리할 수 있는데, 그 이유는 그의 송신기가 따라서 실질적으로 $\lambda/2$ 만큼 이격될 것이기 때문이다. 본 기술 분야 또는 어레이 신호 처리 분야의 기술자라면 알 수 있는 바와 같이, 어레이 신호 처리는 빔 포밍 등을 수행하는데 최적이다. 위에서 설명한 바와 같이, 수신기가 다이의 코너에 있는 경우, 각 다이 상의 해당 수신기도 실질적으로 $\lambda/2$ 만큼 이격될 것이다. 각 코너에 수신기가 존재하는 경우, 이들 수신기는 타일형 다이의 각 정점에 걸쳐 2×2 미니 어레이를 형성할 것이고, 이러한 미니 어레이 각각은 다른 미니 어레이로부터 $\lambda/2$ 의 간격을 갖게 될 것이다. 이러한 배열은 이론적으로는 높은 수준의 해상도와 빔 조정 기능을 제공하는 것으로 표시될 수 있는데, 그 이유는 이러한 배열이 소위 격자 로브(grating lobe)를 야기할 수 있는 공간적 나이퀴스트(Nyquist) 샘플링 기준을 위반하지 않기 때문이다. 미니 어레이는, 즉, 이들 미니 어레이로부터 나오는 신호를 합산하거나 평균화함으로써, '하나의 공통 센서'로서 사용될 수 있거나, 또는 대안적으로, 이들 미니 어레이의 입력은, 각 요소를 개별적으로 처리하는 어레이 처리 방법에 대한 입력으로서, 개별적으로 사용될 수 있다. 이것은 특정 방향에서 나오는 소리에 대해 더 잘 포커싱하거나 상쇄하는 능력과 같은 특정 이점을 갖는다. 일 예로서, 어레이의 넓은 측으로 들어오는 신호가 있는 경우, 신호 $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$, $s_4(t)$ 가 결합되어, 예를 들어, $s_1(t) - s_2(t) + s_3(t) - s_4(t)$ 가 될 수 있거나, 또는 $s_1(t) + s_2(t) - s_3(t) - s_4(t)$ 가 될 수도 있으며, 이들 모두는 순방향으로 0 응답을 갖지만, 다른 방향에서는 0 응답을 갖지 않을 것이다.
- [0050] 본 발명은 모자이크식으로, 바람직하게는 직사각형 어레이로 배열된, 본원에 기술된 바와 같은 복수의 PMUT를 포함하는 배열체로 확장된다.
- [0051] 송신기 및 수신기의 크기는 특정 애플리케이션에 맞게 선택될 수 있다. 일군의 실시예에서, 송신기는 수신기(들)보다 더 크다. 이는 필요한 전송 에너지를 효율적으로 생성하는 데 유익할 수 있다. 일군의 실시예에서, 초음파 송신기는 초음파 수신기의 폭보다 적어도 2배 더 큰 폭을 갖는다. 초음파 송신기는, 예를 들어, 수신기(들)보다 적어도 3배, 4배, 5배 또는 그 이상 더 클 수 있다. 본 출원인은, 특히 유리한 배열체는 정사각형 다이의 중앙의 원형 송신기에 더 큰 송신기를 갖고 정사각형 다이의 가장자리들에 원형 수신기들을 갖는 것임을 인식했다. 이러한 지오메트리는 전체 다이 크기를 컴팩트하게 하면서도 송신기의 크기가 최대화되게 한다.
- [0052] 일군의 실시예에서, 복수의 다이가 가요성 기판 상에 제공된다. 각 다이에는 송신기 및 수신기 요소 모두가 장착되므로, 이들 다이는 서로의 상대 위치를 계산하도록 구성될 수 있다. 따라서, 이들 다이는 가요성 PCB 상에 장착될 수 있으며 이 PCB는 그 후 여러 다른 표면 중 임의의 표면 상에 부착될 수 있다. 이것은 마이크로봇, 드론 등을 위한 가요성, 저전력, 슈퍼마운트 가능한 3D 이미징 시스템을 만들 수 있다. 다수의 다이는 자체 구성 가능한 어레이 또는 센서 네트워크를 구축하는 데 사용될 수도 있다. 이들 어레이 또는 센서 네트워크는, 각 다이가 적어도 송신기와 수신기 모두를 갖고 있기 때문에, 각 요소의 상대 위치가, 다이 레이아웃(들)에 대한 지

식과 함께, 동일한 다이 상에 있지 않은 송신기와 수신기 쌍 간의 비행 시간 측정치 또는 방향 측정치(도착 방향) 또는 상대적 시간차(도착 시간차) 또는 이들의 조합을 사용함으로써 해결될 수 있다는 사실을 이용함으로써, 자체 구성 가능하게 만들어질 수 있다.

- [0053] 이러한 배열체는 그 자체로 참신하고 독창적이며, 따라서 추가 양태에서 볼 때, 본 발명은 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)의 비평면 어레이를 포함하는, 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템을 동작시키는 방법을 제공하며, 각각의 PMUT는 단일 공통 반도체 다이 상의 전용 초음파 송신기 및 적어도 하나의 개별 전용 초음파 수신기를 포함하고, 상기 방법은 상기 비평면 어레이 내의 상기 PMUT 중 제1 PMUT의 송신기로부터 하나 이상의 신호를 전송하는 단계, 상기 비평면 어레이의 상기 PMUT 중 제2 PMUT의 적어도 하나의 수신기를 사용하여 상기 신호(들)를 수신하는 단계, 및 상기 수신된 신호를 사용하여 상기 제1 PMUT와 상기 제2 PMUT의 상호 상대 위치를 결정하는 단계를 포함한다.
- [0054] 본 발명의 이러한 양태는 전술한 방법을 수행하도록 구성된 시스템으로 확장된다.
- [0055] 일군의 실시예에서, 상호 상대 위치는 상기 제1 PMUT 및 제2 PMUT 상의 하나 이상의 수신기에 의해 수신된 신호의 후속 신호 처리에 사용된다.
- [0056] PMUT는 임의의 적합한 압전 재료로 형성될 수 있지만, 일군의 실시예에서 초음파 송신기 및/또는 초음파 수신기는 알루미늄 질화물 또는 알루미늄-스칸듐 질화물로 제조된다. 위에서 언급한 바와 같이, 통상적으로 공통 다이 상에서 송신기 및 수신기를 제조하는 것이 어려운 것으로 여겨졌지만, 본 출원인은 송신기 및 수신기 모두에 대해 이들 재료를 사용하게 되면 둘 중 하나의 성능을 과도하게 손상시키지 않으면서 공통 다이 상에서 송신기 및 수신기를 제조하는 것이 가능하다는 것을 알게 되었다. 본 출원인은, 예를 들어, AlN으로 제조된 송신기가 일부 상황에서 기상 증착된 티탄산 지르콘산 납(PZT: lead zirconate titanate)보다 더 큰 전압으로 구동될 수 있다는 것을 알게 되었고, 추가로 알루미늄의 일부를 스칸듐으로 대체하게 되면 PMUT의 성능을 상당히 향상시킬 수 있다는 것을 알게 되었다. 송신기 및 수신기 모두는 동일한 재료로 만들어질 수 있거나, 또는 매우 효과적인 송수신에 최적화된 재료의 조합을 사용할 수도 있다.
- [0057] 다른 실시예에서, 초음파 송신기 및/또는 초음파 수신기는 PZT(lead-zirconate-titanate), KNN((K,Na)NbO₃), ZnO(아연 산화물), BaTiO₃(티탄산 바륨) 또는 PMN-PT(Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃)로 제조된다.
- [0058] 일군의 실시예에서, 송신기 및 수신기는 서로 다른 재료로 제조된다. 예를 들어, 초음파 송신기는 PZT로 제조될 수 있고, 초음파 수신기는 AlN으로 제조될 수 있다. PZT는 일반적으로 AlN보다 낮은 전압에서 보다 높은 음압을 출력한다.
- [0059] 실제로, 송신기용으로 AlN이 사용되는 경우, 복잡하고 값비싼 증폭 출력 회로를 구축하지 않고는 충분히 강한 출력 신호를 제공하는 PMUT 시스템을 구축하기 어려울 수 있다. 예를 들어, 초음파 시스템이 넓은 방의 천장에 장착된 방 모니터링 응용 분야에서, AlN이 PZT 대신에 송신기용으로 사용되는 경우, 낮은 높이의 바닥 쪽으로 전송되는 에너지는 유용한 반향을 획득하기에는 충분하지 않을 수 있다. 따라서, PZT를 사용하여 초음파 송신기를 제조하는 것이 바람직할 수 있다.
- [0060] 주변 환경으로부터 수신되는 반향을 충분히 강하게 제공하도록 전송 신호가 발생된 때에는, 반향을 가능한 한 높은 신호 대 잡음비(SNR)로 수신하는 것이 바람직하다. AlN은 PZT보다 초음파 신호에 대해 보다 높은 감도를 가지며, 따라서 이러한 목적에 더 적합하다. 보다 나은 SNR은 보다 나은 초음파 검출, 및 어레이 빔 포밍 애플리케이션에서 보다 효과적인 빔 포밍으로 이어진다. 이에 더하여, 양호한 SNR을 가진 충분히 민감한 초음파 수신기는 과도한 출력 전력에 대한 필요성을 줄이고(즉, SNR을 개선하기 위한 강한 신호가 덜 필요함), 디바이스에서 과도한 전력을 사용할 필요성을 줄인다. 예를 들어, 실내 모니터링 애플리케이션에서, PMUT를 사용하는 디바이스는 배터리로 전력을 공급받을 수 있으며, 불필요하게 높은 전력 출력 레벨은 배터리 수명을 단축시킬 것이다.
- [0061] PZT가 초음파 송신기를 제조하는 데 사용될 경우 AlN보다 더 높은 음압을 제공하지만, 초음파 송신기에 PZT를 사용하고 초음파 수신기에 AlN을 사용하는 경우에도 단점이 있을 수 있다. PZT가 높은 감도를 가지기 위해서는 PZT가 압전 속성을 나타내도록 사용 전에 재료를 분극화해야 한다. 그러나, 높은 볼륨 제조 시나리오에서, 재료의 추가적인 분극화 단계는 보다 비싸고 복잡한 제조 결과를 초래할 수 있다.
- [0062] 따라서, 일군의 실시예에서, 송신기 및 수신기는 동일한 재료로 제조된다. 이것은 특히 AlN이 초음파 송신기와 초음파 수신기 모두에 사용되는 경우 재료의 분극화가 필요하지 않을 수 있으므로 제조 용이성을 높일 수 있다.

[0063] 일군의 실시예에서, 초음파 수신기는 광학 수신기이다. 초음파 송신기와 초음파 수신기가 서로 다른 재료로 만들어진 경우, 광학 수신기는 다른 타입의 송신기와 조합하여 사용될 수 있다. 두 개의 적합한 예시적인 타입의 광학 수신기는 광학 다중 위상 판독과 광학 공진기를 사용하는 수신기이다. 광학 다중 위상 판독은, 예를 들어, WO 2014/202753에 기술되어 있고, 광학 공진기는, 예를 들어, 문헌[Shnaiderman, R. et al., "A submicrometre silicon-on-insulator resonator for ultrasound detection", *Nature*, 2020, **585**, 372-378]에 기술되어 있다.

[0064] 이들 광학 수신기 접근 방식 모두는 수신 신호의 SNR을 향상시킬 수 있다. 이를 통해, 초지향성 원리에 따라 달성되는 고해상도 이미징과 함께, 광학 수신기 요소들은 수신기 요소들 간에 사용되는 일반적인 $\lambda/2$ 간격보다 서로 훨씬 더 근접해질 수 있다. 이와 같이, 단일 다이 상에서 적합한 송신기와 함께 조밀하게 이격된 다중 광학 수신기의 사용을 통해, 컴팩트한 초음파 이미징 컴포넌트를 제조할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0065] 본 발명의 특정 실시예는 이제 첨부된 도면을 참조하여 예로서만 설명될 것이다.

도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 PMUT의 도면이다.

도 2는 본 발명의 제2 실시예에 따른 PMUT의 도면이다.

도 3은 도 1의 PMUT의 단면도이다.

도 4는 초음파 신호를 전송 및 수신하기 위한 시스템의 블록도이다.

도 5는 도 2에 도시된 PMUT의 직사각형 어레이의 도면이다.

도 6은 가요성 기판에 부착된 도 2에 도시된 PMUT 어레이의 도면이다.

도 7은 도 6의 어레이가 부착된 무인 항공기의 도면이다.

도 8은 직접 경로 신호를 감소시키기 위한 PMUT 및 관련 시스템의 개략도이다.

도 9는 도 8 및 도 9에 도시된 시스템의 직접 경로 신호의 추정치를 생성하는 방법을 예시하는 흐름도이다.

도 10은 직접 경로 신호를 감소시키기 위한 PMUT 및 관련 시스템의 추가 개략도이다.

도 11은 광학 수신기를 사용하는 PMUT의 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0066] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 압전 미세 가공 초음파 변환기(PMUT)(2)의 단순화된 도면이다. PMUT(2)는, 초음파 송신기(6)와 초음파 수신기(8)가 위에 형성되어 있는 정사각형 실리콘 다이(4)를 포함한다. 제조 공정의 추가 세부 사항은 도 3을 참조하여 아래에 제공된다.

[0067] 알 수 있는 바와 같이, 송신기(6)는 원형이고 다이의 중심에 위치된다.

[0068] 수신기(8)는 송신기(6)보다 훨씬 작고, 다이의 한 코너의 미사용 공간에 위치된다. 도 2는 각각의 수신기(8)가 다이(4)의 각 코너에 위치되는 변형 실시예를 도시한 것이다. 물론 다른 개수의 수신기가 제공될 수 있으며, 예컨대, 둘, 셋 또는 그 이상이 제공될 수 있다. 이들 수신기는 또한 다른 곳에 위치할 수도 있거나 두 개 이상의 수신기가 소정의 코너에 위치할 수도 있다. 송신기는 형상이 다르거나 위치가 다를 수 있고/있거나 다수의 송신기가 제공될 수 있다.

[0069] 송신기(6)는, 예를 들어, 40 kHz 이상의 주파수에서 신호를 전송하도록 설계될 수도 있다. 다이(4)는 대략 4 mm의 폭을 가지며, 이는 공기 중에서 이들 신호 파장의 절반이다. 송신기(6)는 대략 3 mm의 직경을 갖는 반면, 수신기(들)는 대략 0.1 mm의 직경을 갖는다.

[0070] 도 3은 도 2에 도시된 PMUT(2)의 층들을 보다 상세하게 보여주는 개략적인 대각선 단면도이다. 이 도면은, 송신기에 대응하는 중심에 애퍼처(106)가 있고 수신기에 대응하는 코너에 더 작은 애퍼처(108)가 있는 실리콘 기판(100)을 포함한다. 실리콘 기판(100) 위에는 실리콘 멤브레인(102)이 놓여 있다.

[0071] 송신기 및 수신기 애퍼처(106, 108) 위에는 각각의 압전 스택이 있으며, 각각의 압전 스택은 두 개의 전극(110) 사이에 개재된 압전 박막 재료 층(104) - 이는 예를 들어 AlN, AlScN, 또는 PZT로 제조됨 - 을 포함한다.

[0072] 이 디바이스는 일반적인 미세 가공 기술을 사용하여 제조될 수 있다. 송신기 및 마이크로폰의 구조물은 일반적

으로 얇은 멤브레인, (1차원 또는 2차원의) 캔틸레버 구조물 또는 브리지일 수 있다. 이러한 기계적 구조물의 주요 부분은 일반적으로 실리콘을 포함한다. 이러한 구조물은, 예컨대, 실리콘 벌크 미세 가공에 의해 - 즉, 실리콘 웨이퍼로 시작할 때 실리콘의 주요 부분은 제거하고 의도된 기계적 (얇은) 구조물은 남기는 - 실리콘 벌크 미세 가공에 의해, 또는 실리콘 표면 미세 가공에 의해 - 즉, (구조화된) 희생 층과 실리콘 박막을 퇴적시켜, 실리콘 막을 구조화한 후에 기계적 구조물은 남기고 희생 층은 제거하는 - 실리콘 표면 미세 가공에 의해, 제조될 수 있다.

[0073] 송신기 또는 마이크로폰 요소의 주요 기계적 부분 외에도, 이들 요소는 박막 금속 전극 및 압전 박막을 포함한다. 이것은 디바이스의 송신기와 마이크로폰 부분에 대해서는 동일한 압전 박막 재료일 수 있거나, 또는 전송 및 감지에 대해서는 최적화된 속성을 가진 상이한 압전 박막 재료일 수 있다. 박막 전극 재료 및 압전 박막 재료(들)는 일반적으로 기계적 구조물의 실리콘 부분을 구조화하기 전에 구조화된다. 작동 및 관독 개념에 따라, 두 개의 전극 - 즉, 31-모드를 사용하는 압전 층 상단의 하나의 층 전극 및 아래의 하나의 층 전극 - 이 사용되거나, 또는 하나의 전극 - 즉, 33-모드를 사용하는 압전 층 상단의 하나의 전극 - 이 사용될 수 있다.

[0074] 전극 재료는 일반적으로 스퍼터링 공정에 의해 퇴적된다. 압전 박막 재료는, 재료에 따라, 스퍼터링과 같은 또는 펄스 레이저 퇴적 공정을 이용하는 물리적 방법에 의해, 또는 화학 기상 증착(CVD: chemical vapor deposition) 또는 화학 용액 퇴적(CSD: chemical solution deposition)과 같은 화학적 방법을 사용하여 퇴적될 수도 있다.

[0075] 도 4는 본원에 기술된 PMUT(6, 8)를 사용하는 초음파 전송 및 수신 시스템의 전형적인 컴포넌트들의 고도로 단순화된 개략적인 블록도를 도시한 것이다. 이 시스템은 메모리(22) 및 일반적으로 시스템의 모든 컴포넌트에 전력을 공급할 배터리(24)를 갖는 CPU(20)를 포함한다. CPU(20)는 신호 생성기(26) 및 신호 샘플러(28)에 접속되어 있다. 이들은 실제로 적합한 디지털 신호 프로세서(DSP)에 의해 제공될 수 있다. 신호 생성기(26)는 초음파 송신기(6)를 구동하는 송신 증폭기(30)에 접속되어 있다.

[0076] 다른 쪽에서 수신기(8)는 신호를 샘플러(28) 및 CPU로 전달하는 수신 증폭기(32)에 접속되어 있다. 송신기(6)는 수신기(8)와 분리되어 있고, 송신기를 구동하기 위한 경로는 신호를 수신하기 위한 경로와 독립적이기 때문에, 복잡한 스위칭 전자 장치가 필요하지 않으며 전송 및 수신은 동시에 수행될 수 있다는 점에 주목해야 할 것이다.

[0077] 사용 중에 송신기(6)는 날카로운 버스트 신호로 구동될 필요 없이, 예컨대, 0.1 또는 0.2 밀리초 이상 더 긴 비교적 길고 낮은 전력 신호로 구동될 수 있다.

[0078] 도 5는 도 2에 도시된 타입의 PMUT(2)의 직사각형 어레이를 도시한 것이다. 여기서 개별 다이(4)가 어레이를 형성하기 위해 공통 기관(도시되지 않음) 상에서 상호 인접하는 관계로 함께 모자이크된다는 것을 알 수 있을 것이다. 다이(4)가 반파장 폭이기 때문에, X 및 Y 방향 모두에서 송신기(6)의 중심-중심 간격(10)도 반파장이 된다. 또한 인접한 다이의 각 코너에 있는 수신기(8)가 각각의 2x2 미니 어레이(12)를 형성한다는 것을 알 수 있을 것이다. 다이(4)의 크기로 인해, 이들 미니 어레이(12)들도 반파장만큼 분리되어 있다.

[0079] 도 5에는 6개의 다이(4)만이 도시되어 있지만, 예시적인 실시예에서 어레이의 한 차원 또는 두 차원 모두에서 여러 다이가 있을 수도 있다.

[0080] 소리의 파장 λ 는 아래와 같이 소리의 속도 c 와 소리의 주파수 f 에 따라 달라진다:

[0081]
$$\lambda = c/f$$

[0082] 공기 중에서 기술적으로 사용 가능한 초음파(개를 위한 가청 범위를 초과하는 것임을 보장하기 위한 40 kHz 초과)의 경우, 파장은 8.6 mm 미만이고, 따라서 초음파 어레이에 대한 중요한 파라미터인 파장의 절반은 4.3 mm 미만이다. 이것은 본원에 기술된 것과 같은 미세 전자 기계 시스템(MEMS: microelectromechanical system) 타입 디바이스의 전형적인 치수이다.

[0083] 캔틸레버 및 멤브레인과 같은 일반적인 MEMS 타입 구조물의 경우, 기본 진동 모드의 주파수는 다음의 수학적식으로 표현될 수 있다:

[0084] 캔틸레버:

$$f = \frac{1.015}{2\pi} \frac{t}{L^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

[0085]

[0086] 원형 멤브레인/다이어프램:

$$f = \frac{40.8}{2\pi} \frac{t}{d^2} \sqrt{\frac{E}{12(1-\nu)\rho}}$$

[0087]

[0088] 여기서, t 는 기계적 구조물의 두께, E 는 영률, ρ 는 밀도, L 은 캔틸레버의 길이, d 는 원형 멤브레인의 직경이다. 이 수학적식은 단일 재료에 대한 것이지만, 다층 구조물에 대해서 아주 쉽게 수정될 수 있다.

[0089] 이러한 수학적식은 MEMS 초음파 구조물의 실현 가능성을 예시하고 있다. MEMS 구조물에 대한 일반적인 치수인 1250 μm 직경의 8 μm 두께의 실리콘 멤브레인의 고유 주파수는 약 80kHz의 고유 주파수를 갖는다.

[0090] 대부분의 표준 빔 포밍 알고리즘은 $\lambda/2$ 간격의 이점을 가지는데, 그 이유는 각각의 착신 파면이 서로 다른 각도 또는 파수로 다른 착신 파면과 구별될 수 있다는 것을 의미하며, 이는 결국에는 소위 '격자 로브(grating lobe)' 문제가 방지된다는 것을 의미하기 때문이다. $\lambda/2$ (또는 더 좁은) 간격의 이점을 갖는 기존 빔 포밍 방법은 무선 통신 방법이나, 엔트로피나 정보 극대화과 같은 추가적인 제약이 있는 초음파 이미징 방법뿐만 아니라, (가중화된) 지연 및 합산 빔 포머(delay-and-sum beamformer), MVDR/Capon과 같은 적응형 빔 포머(adaptive beamformer), MUSIC 및 ESPRIT와 같은 방향 탐색 방법, 및 DUET와 같은 블라인드 소스 추정 접근 방식을 포함한다.

[0091] 도 6은, 예를 들어, 폴리우레탄으로 제조된 리본(16)의 형태로 가요성 기관에 부착된 도 2에 도시된 타입의 다수의 다이(4)로 구성된 추가 어레이(14)를 도시한 것이다. 이러한 어레이(14)는 임의의 수의 물체 또는 디바이스에 부착될 수 있거나 웨어러블 디바이스의 일부를 형성할 수 있다. 도 7은 어레이(14)가 무인 항공기 또는 드론(18)의 본체에 부착된 일 예를 도시한 것이다. 이러한 배열체에서, 송신기 및 수신기를 구동하는 프로세서(도시되지 않음)는 교정 단계에서 동작하도록 프로그램될 수 있으며, 이에 의해 어레이(14) 내의 개별 송신기(6)는 서로 다른 신호를 전송하거나 서로 다른 시간에 신호를 전송하며, 이들 신호는 어레이 내의 다른 다이 상의 수신기(8)에 의해 수신된다. 코딩된 신호(CDMA 타입) 또는 처프 신호의 전송과 같은 적합한 알고리즘을 사용하고, 이에 후속하여 매칭된 필터링 또는 디컨볼루션 및 신호 피크 검출, 예를 들어, 즉, CFAR 필터를 사용하게 되면, 이러한 전송의 비행 시간을 사용하여 개별 다이(4)의 상대적인 상호 위치를 수립할 수 있다. 일부 상황에서는 두 개의 수신기와 하나의 전송/반사된 신호 사이의 상대적인 도착 시간차(TDOA: time-differences of arrival)를 계산하는 데 더 관심이 있다. 이를 위해 GCC-PHAT(Generalized Cross Correlation PHase Transform) 및 SRP-PHAT(Steering Response PHase Transform)를 포함하여 널리 사용되는 다양한 방법이 있다.

[0092] 그런 다음 작동 중에 이들 방법을 사용하여 각 수신기의 신호에 적절한 위상차를 적용하여, 각각의 수신기가 예컨대, 빔 포밍을 위한 일관된 어레이로 작용하도록 할 수 있다. 이러한 접근 방식은 어레이가 임의의 수의 불규칙한 형상의 물체에 부착되도록 하여 정확한 부착이 중요하지 않도록 하는 데 유용하다.

[0093] 드론(18)은 반향정위, 충돌 회피 등을 위해 어레이(14)를 사용할 수 있다.

[0094] 도 8은 직접 경로 신호를 보상할 수 있는 PMUT(302) 및 관련 시스템의 개략도이다. 이 시스템은 송신기 요소(306) 및 수신기 요소(308)가 형성되는 정사각형 실리콘 다이(304)를 포함하는 PMUT(302)를 포함한다.

[0095] 주문형 집적 회로(ASIC: application-specific integrated circuit) 또는 디지털 신호 프로세서(DSP: digital signal processor)(42)는 1차 디지털-아날로그(D/A) 변환기(34)에 접속되어 있다. 이 1차 D/A 변환기(34)는 초음파 송신기(306)를 구동하는 증폭기(132)에 접속되어 있다. 따라서 초음파 송신기(306)는 초음파 신호(48)를 방출한다.

[0096] 초음파 수신기(308)는 관심 물체로부터 반사된 반사 반향(50)을 수신한다. 초음파 수신기(308)는 또한 음향 직접 경로 신호(44, 46)를 수신한다. 직접 경로 신호(44) 중 하나는 공기 중 직접 음향 경로 신호이다. 다른 직접 경로 신호(46)는 다이(304)의 본체를 통해 송신기(306)에서 수신기(308)로 전송된다. 다른 전송 메커니즘은 수

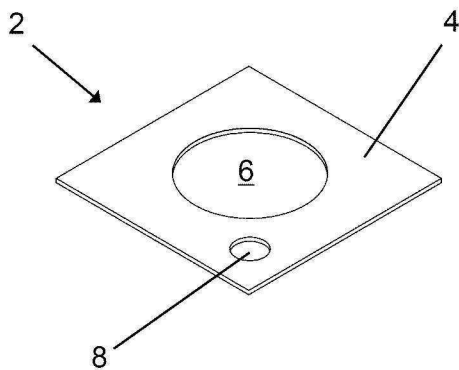
신기(308)에 의해 수신된 전체 직접 경로 신호에 기여할 수 있다.

- [0097] ASIC/DSP(42)는 도 9를 참조하여 아래에서 더 상세히 설명되는 바와 같이 수신된 초음파 신호에 대한 직접 경로 신호(44, 46)의 효과의 추정치를 추가로 생성한다. ASIC/DSP(42)는 생성된 추정치를 수정할 수 있는 신호 수정기(52)를 포함한다. 신호 수정기(52)는, 예를 들어, ASIC/DSP(42)로부터의 출력 신호에 컨볼루션을 적용하는 필터를 포함할 수 있다. 추정된 직접 경로 신호는 이러한 신호를 아날로그 신호로 변환하는 D/A 변환기(54)로 전달된다. 이러한 아날로그 신호는 증폭기(36)를 통해 믹서(38)로 전달된다. 믹서는 수신기(308)에 의해 생성된 아날로그 신호에서 아날로그 추정된 직접 경로 신호를 감산하며, 결과적인 신호는 디지털 신호를 생성하는 아날로그-디지털(A/D) 변환기(40)로 전달되고, 이러한 디지털 신호는, 예컨대, 반향정위, 저장 등을 위해 추가로 분석될 수 있다.
- [0098] 일반적으로, 직접 경로 신호(44, 46)는 수신된 반향(50)보다 훨씬 더 강하다. 기술된 실시예는 유리하게도 디지털 신호로의 변환을 위한 샘플링 전에 직접 경로 신호(44, 46)를 제거한다. 직접 경로 신호(44, 46)가 제거되지 않은 경우, A/D 변환기(40)는 수신된 반향(50)과 직접 경로 신호(44, 46) 모두를 디지털 신호로 변환하기 위해 높은 동적 범위를 필요로 할 것이다. 높은 동적 범위 A/D 변환기는 더 복잡하고, 따라서 더 비싸고 전력 소모적이다.
- [0099] 도 9는 도 8에 도시된 시스템의 직접 경로 신호(44, 46)의 추정치를 생성하는 방법을 예시하는 흐름도이다. 단계 58에서, 시스템은 송신기 요소(306)로부터 개별 수신기(308)로의 직접 경로 신호(44, 46)를 레코딩하기 시작한다. 도 2에 도시된 바와 같이 수신기가 여러 개인 경우, 각 개별 수신기에 대해 프로세스가 반복될 수 있다. 레코딩된 신호는 환경으로부터의 반사 신호를 포함하지 않는데, 그 이유는 시간 게이팅을 사용하여 이들 반사 신호를 배제하기 때문이다(이들 반사 신호는 직접 경로 신호보다 더 긴 비행 시간을 갖기 때문이다).
- [0100] 직접 경로 신호(44, 46)는 온도와 같은 조건에 따라 변할 수 있기 때문에, 더 긴 시간 기간 동안 또는 하루 중 다수의 시간 인스턴스 동안(시스템이 사용되지 않을 경우) 수 개의 직접 경로 신호(44, 46)를 레코딩하여 단계 60에서 충분한 데이터베이스를 획득하는 것이 바람직할 수 있다. 선택적으로, 레코딩은 약간 더 높거나 더 낮은 주파수에서 재샘플링함으로써 다른 온도 및 압력 레벨에서 직접 경로 신호(44, 46)를 추정하는 데 사용될 수 있다.
- [0101] 단계 62에서, 직접 경로 신호의 충분한 데이터베이스가 생성되었는지 여부에 대한 기준을 검사한다. 이 기준은 사전 레코딩된 직접 경로 신호의 자체 반복 정도, 즉, 과거 신호 자체가 반복되는지 여부와 같은 임의의 적합한 품질 파라미터와 관련될 수 있거나, 기준은 데이터베이스의 "완성"을 위해 특정 온도 범위 동안 수집된 직접 경로 신호를 필요로 하는 온도 센서에 연결될 수 있다. 데이터베이스는 요소 주변의 물리적 환경이 변경될 수 있으므로 수시로 업데이트될 수 있다. 예를 들어, 송신기(306) 또는 수신기(308)는 다른 하우스징으로 이동될 수 있거나, 먼지가 센서 위 또는 가까이 떨어지거나 떨어져 직접 음향 경로에 영향을 미칠 수 있다. 데이터베이스 품질이 적절하지 않으면, 직접 경로 신호의 추가 레코딩이 수행된다.
- [0102] 일단 데이터베이스 품질이 적절한 것으로 결정되면, 단계 64에서 반사 신호에 대한 레코딩 세션이 시작된다. 직접 경로 신호의 초기 추정치는 단계 66에서, 어림짐작으로, 또는 직접 경로 신호 데이터베이스 생성 단계(58 내지 62)에서 사용되는 온도 센서(도시되지 않음)로부터의 입력을 고려하여, 제공된다. 그 다음 D/A 변환기(54)는 ASIC/DSP(42)로부터의 추정된 직접 경로 신호를 변환하여 이를 믹서(38)에서 감산할 수 있다.
- [0103] 단계 70에서, 송신기(306)는 초음파 신호를 전송하고, 수신기(308)는 반사된 반향(50) 및 직접 경로 신호(44, 46)를 수신한다. 단계 72 및 74에서, 수신된 데이터의 품질을 모니터링하여, 단계 66에서 선택된 직접 경로 신호가 양호한 선택인지 여부를 식별한다. 품질에 대한 파라미터의 예는 수신된 신호(직접 경로(44, 46))에서 가장 강한 성분이 성공적으로 제거되었음을 시그널링하는 최소 에너지이다. 대안적으로, 최대 회박도가 파라미터로 사용될 수 있는데, 이는 "명확한 반향"이 수신되고 있다는 것을 나타내기 때문이다. 일반적으로, 반향(50)과 직접 경로 신호(44, 46)의 혼합은 이들 중 어느 하나 각각보다 더 복잡해지는 경향이 있다. 시간 경과에 따른 엔트로피 또는 자기 유사성을 반영하는 것과 같은 다른 파라미터가 또한 사용될 수 있다.
- [0104] 단계 74의 품질이 양호한 경우, 단계 76에서, 믹서(38)로부터 수신된 신호는 A/D 변환기(40)로 전달되고, 근접도, 존재, 또는 제스처 감지와 같은 추가 분석을 위해 사용될 수 있다.
- [0105] 단계 74의 품질이 불량이고, 그 품질이 단계 78의 제1 임계치 미만이 아닌 경우, 직접 경로 신호의 추정치에 대한 약간의 수정만이 필요하다. 이러한 약간의 수정은, 단계 80에서 추정된 직접 경로 신호를 교정하기 위해 그 추정된 직접 경로 신호에 컨볼루션을 적용하는 필터(52)에 통합될 수 있다.

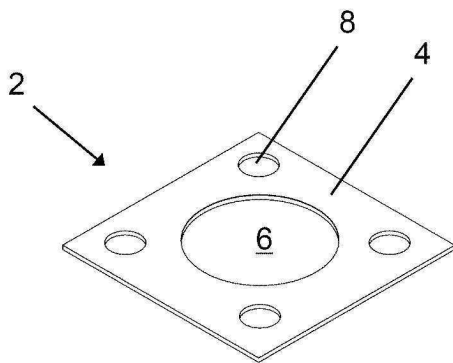
- [0106] 품질 파라미터가 제2 임계치 미만인 경우, 단계 82에서, 시스템은 새로운 데이터베이스를 구축하기 위해 직접 경로 신호를 다시 레코딩하기 시작한다. 이것은 송신기 요소(306)의 거동 또는 주변 환경에 상당한 변화가 있을 때 필요할 수 있다.
- [0107] 품질 파라미터가 제1 임계치 미만이지만 제2 임계치 미만인 경우, 단계 84에 도시된 바와 같이, 추정된 직접 경로 신호에 대해 다른 후보가 선택될 수 있다.
- [0108] 도 10은 직접 경로 신호를 보상하기 위한 PMUT(302') 및 관련 시스템의 다른 실시예의 개략도이다. 이 실시예는 도 8의 실시예와 거의 동일하며, 유사한 부분은 프라임 심볼을 추가한 유사한 참조 번호로 표시된다. 그러나 이 실시예에서 PMUT(302')는 음향 경로 장벽(56)을 더 포함한다. 이러한 음향 경로 장벽(56)은, 예를 들어, 송신기(306') 주위의 실린더, 수신기(308') 주위의 실린더, 또는 송신기(306') 및 수신기(308') 둘 모두의 주위의 실린더일 수 있다. 이러한 음향 경로 장벽(56)은 송신기(306')와 수신기(308') 사이의 신호(44')의 공기 전송을 감소시킴으로써 공기 중 직접 음향 경로 신호(44')의 강도를 물리적으로 감소시키는 역할을 한다.
- [0109] 도 11은 광학 수신기(408)를 사용하는 PMUT(402)의 도면이다. 이들은, 예를 들어, 음향 신호에 의한 멤브레인의 이동을 멤브레인에서 반사된 광을 사용하여, 예컨대, 회절 격자를 사용하여 관측하는 MEMS 구조물을 포함할 수 있다. 광학 수신기(408)는 도 2에 도시된 수신기(8)보다 훨씬 더 조밀하게 이격될 수 있는데, 그 이유는 광학 수신기가 훨씬 더 낮은 자체 잡음을 가지며 이에 따라 종래의 수신기보다 훨씬 더 우수한 SNR을 갖기 때문이다. 따라서, 광학 수신기(408)는 $\lambda/2$ 보다 훨씬 더 조밀하게 이격될 수 있고, 여전히 고해상도의 이미지를 획득할 수 있다. 이와 같이, 조밀하게 이격된 광학 수신기(408)의 사용을 통해, 컴팩트한 초음파 이미징 컴포넌트를 단일 다이(404) 상에 형성한다.

도면

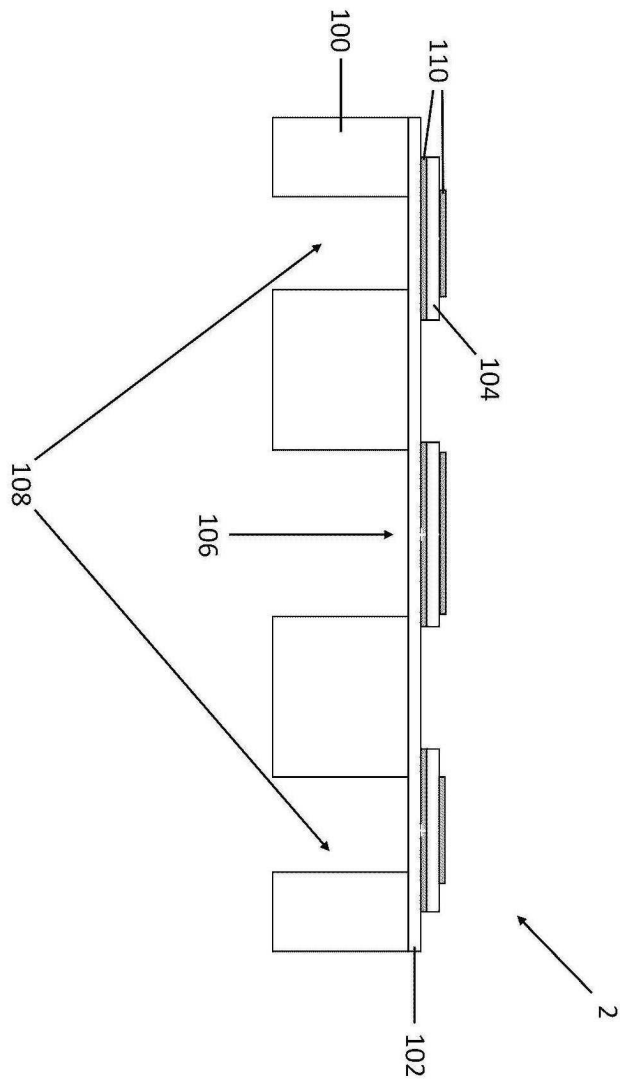
도면1



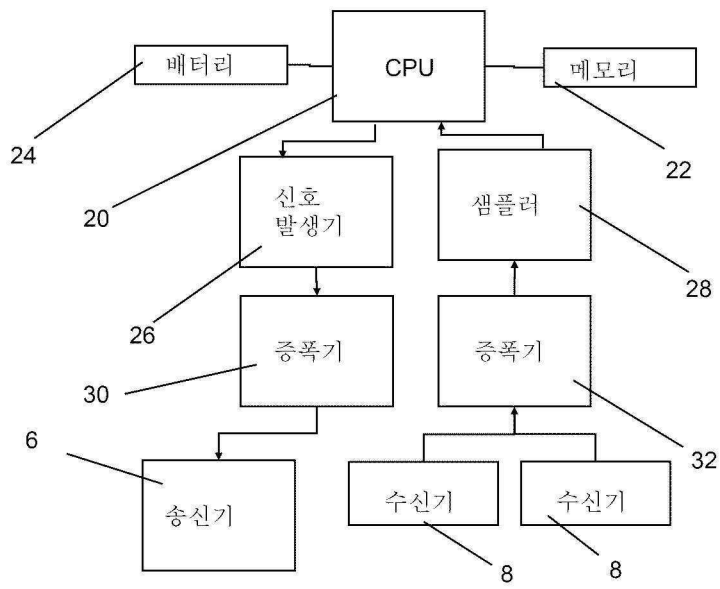
도면2



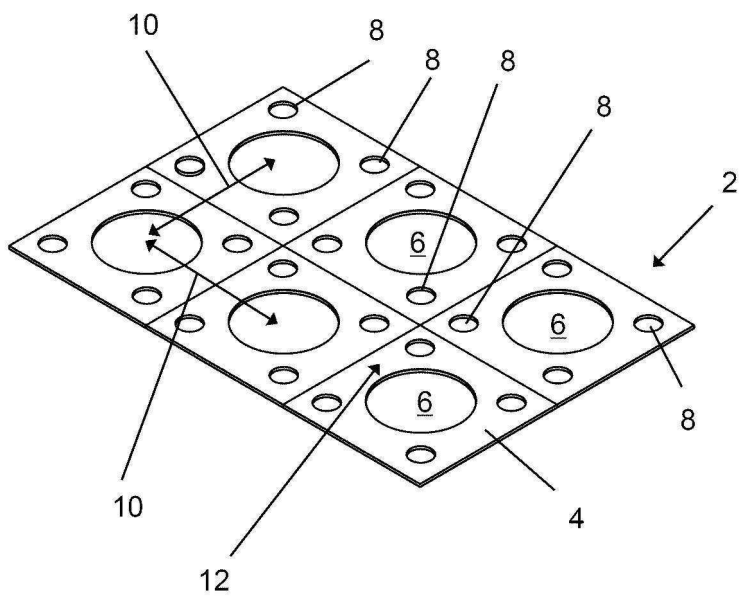
도면3



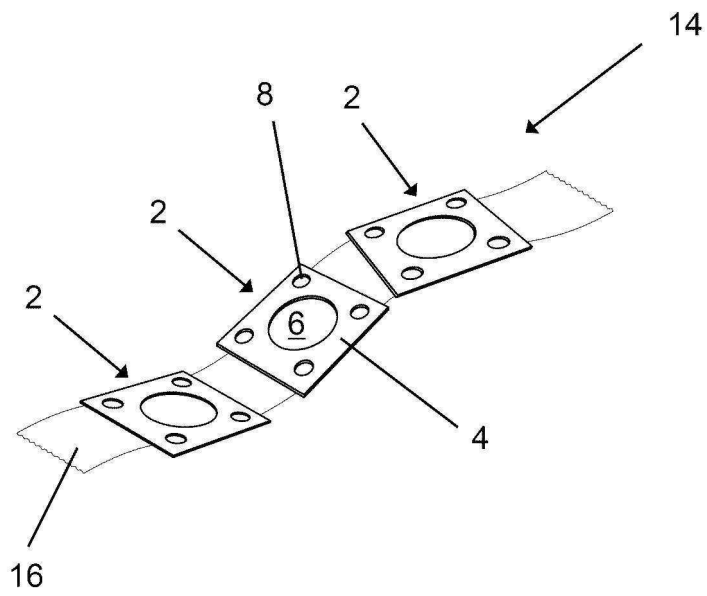
도면4



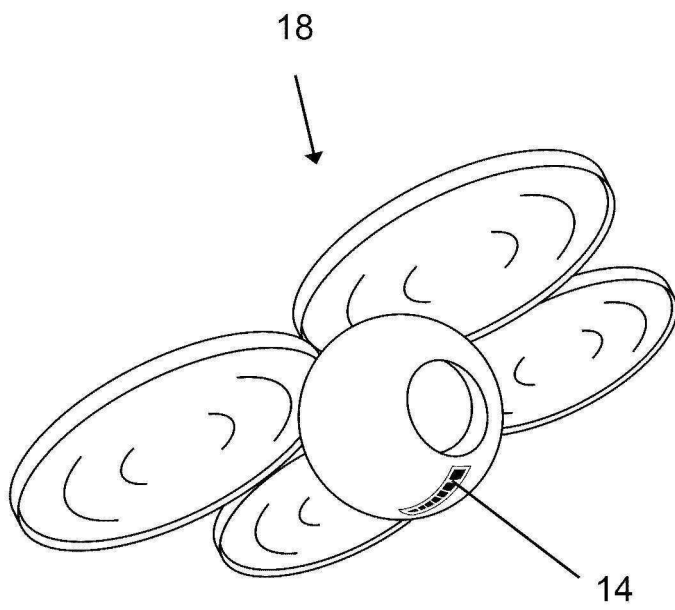
도면5



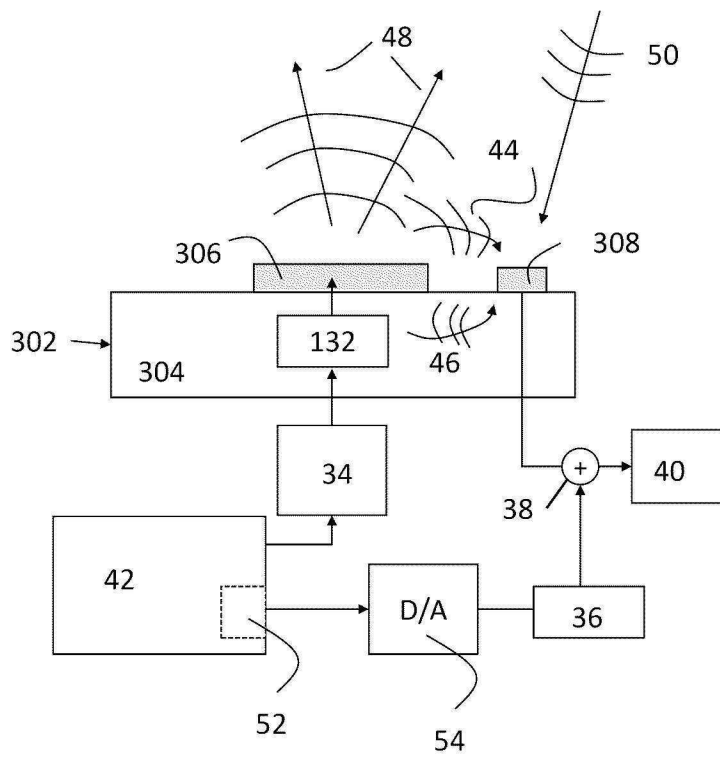
도면6



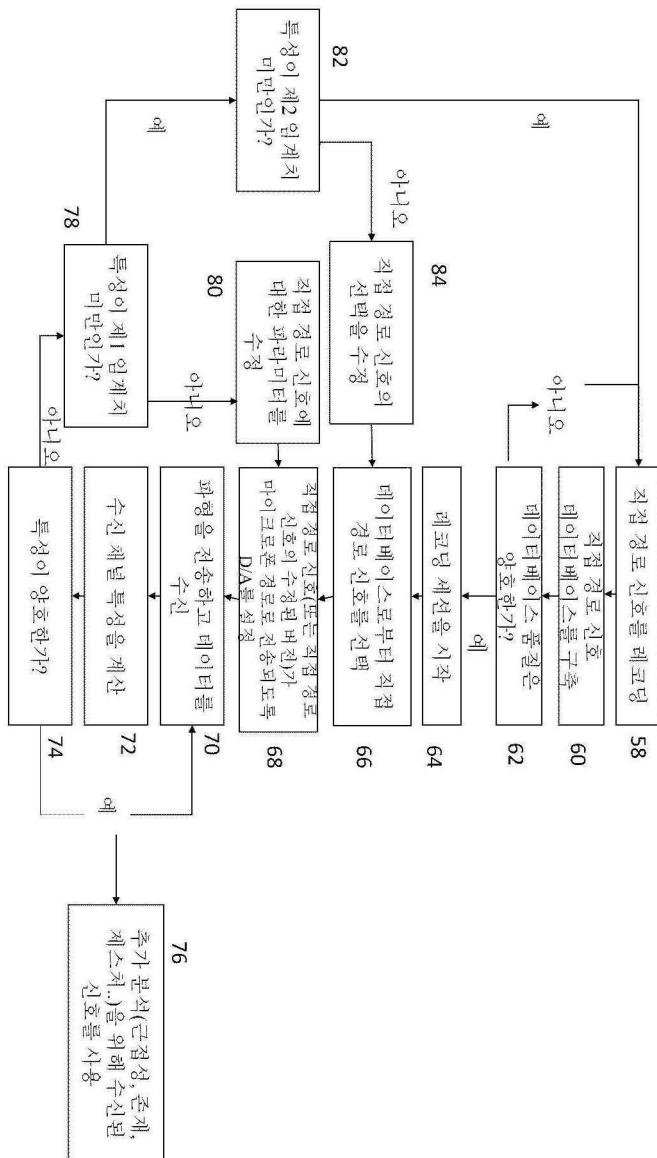
도면7



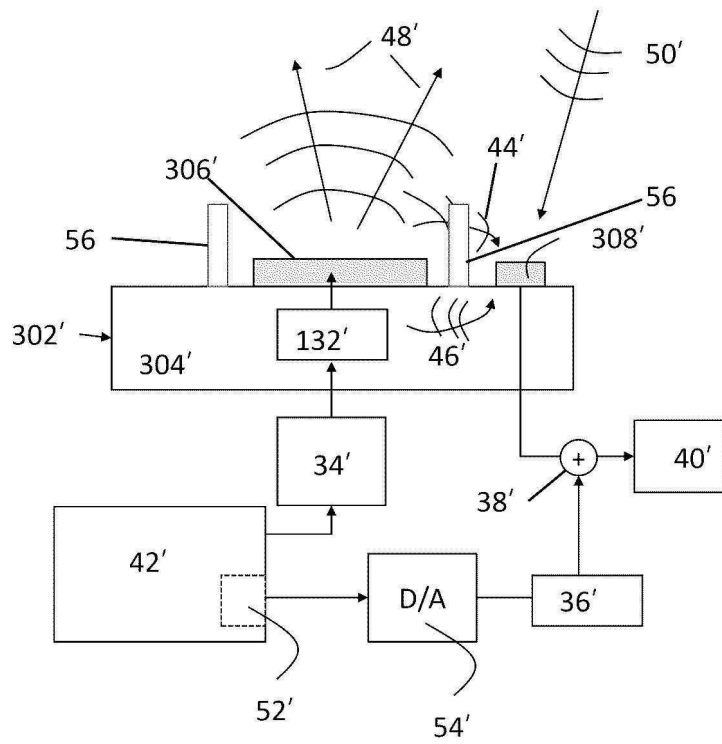
도면8



도면9



도면10



도면11

