(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0113531
(43) 공개일자 2020년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61F 11/00 (2006.01) *A61F 2/18* (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61F 11/008 (2013.01)
A61F 2/18 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0033858
(22) 출원일자 2019년03월25일
심사청구일자 2019년03월25일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
김기우
인천광역시 연수구 송도문화로84번길 84, 102동 401호(송도동, 베르디움 더퍼스트)
(74) 대리인
이은철, 이수찬

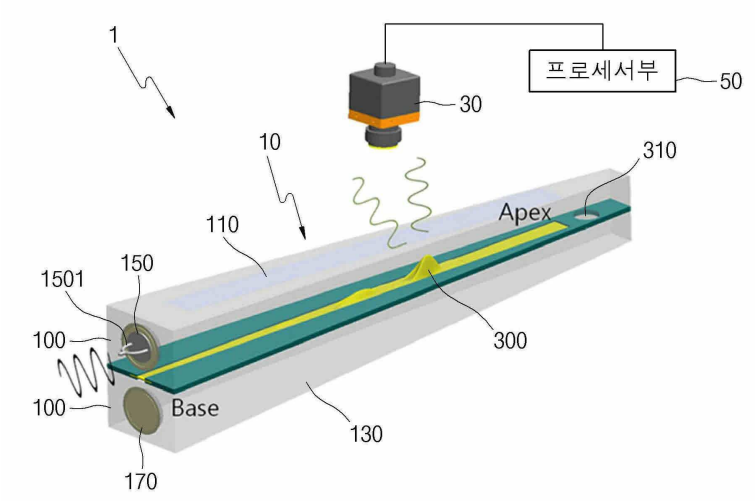
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **달팽이관의 구조적 모사가 가능한 청각 보조 장치**

(57) 요 약

본 발명은 달팽이관을 모사하여 소리의 주파수를 분별하는 청각 보조 장치에 있어서, 내부에 파동을 일으키는 매질이 수용되고, 소리 신호의 자극으로 상기 소리 신호의 주파수 성분에 대응되어 상기 매질의 진행파(Travelling Wave)가 발생되는 챔버부; 및 상기 챔버부 내에 구비되어, 상기 매질의 진행파가 야기하는 기계적 자극으로 전자의 이동과 재결합이 일어나 빛을 발생시키는 기저막을 포함하고, 상기 기저막에서 발생된 빛을 비접촉 방식으로 감지하여 감지된 빛의 정보로 외부 소리 신호의 연속적인 주파수 성분 분석을 가능하게 하는 간단한 구조의 인공와우인 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도2



(52) CPC특허분류
A61F 2002/183 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

달팽이관을 모사하여 소리의 주파수를 분별하는 청각 보조 장치에 있어서,

내부에 파동을 일으키는 매질이 수용되고, 소리 신호의 자극으로 상기 소리 신호의 주파수 성분에 대응되어 상기 매질의 진행파(Travelling Wave)가 발생되는 챔버부; 및

상기 챔버부 내에 구비되어, 상기 매질의 진행파가 야기하는 기계적 자극으로 전자의 이동과 재결합이 일어나 빛을 발생시키는 기저막을 포함하여,

상기 기저막에서 발생된 빛을 감지하여 감지된 빛의 정보로 상기 소리 신호의 주파수를 분석하는 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 챔버부는,

상기 기저막을 경계로 상부 챔버와 하부 챔버의 두 공간으로 분획된 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 챔버부는,

측벽에 마련되어 상기 소리 신호의 진동을 매질로 전달하는 오버 윈도우(Oval window)를 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 오버 윈도우는,

상기 소리 신호의 자극으로 진동되는 스테이피즈 클립을 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 챔버부는,

측벽에 마련되어 상기 오버 윈도우의 진동과 역방향으로 탄성 변형되는 라운드 윈도우(Round window)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 기저막은,

일단에 수직 방향으로 관통된 헬리코트레마(helicotrema)가 형성된 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 기저막은,

미케노 발광(Mechanoluminescence) 소재인 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 미케노 발광(Mechanoluminescence) 소재는,

폴리디메틸실록산(PDMS) matrix에 ZnS:Cu 분자가 혼합된ZnS:Cu-PDMS 복합체로 구성된 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

청구항 9

달팽이관을 모사하여 소리의 주파수를 분별하는 청각 보조 장치에 있어서,

내부에 파동을 일으키는 매질이 수용되고, 소리 신호의 자극으로 상기 소리 신호의 주파수 성분에 대응되어 상기 매질의 진행파(Travelling Wave)가 발생되는 챔버부;

상기 챔버부 내에 구비되어, 상기 매질의 진행파가 야기하는 기계적 자극으로 전자의 이동과 재결합이 일어나 빛을 발생시키는 기저막;

상기 기저막에서 발생된 빛을 감지하는 광센서; 및

상기 광센서로 감지된 빛의 위치 정보를 신호 처리하여 상기 소리 신호의 주파수 성분을 분별하는 프로세서를 포함하는 것을 특징으로 하는 청각 보조 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 인체의 달팽이관을 구조적으로 유사하게 모사하여 달팽이관의 기능을 수행할 수 있는 청각 보조 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 소리를 듣는다는 것은 음압의 변화를 전기신호로 변환하는 과정이다. 귀는 외이, 중이, 내이로 구성되며, 그중 달팽이관은 달팽이와 같은 나선형 구조를 하고 있기 때문에 붙여진 이름으로 두 바퀴 반 회전을 한 형태이다. 청각에 관여하는 내이의 일부로서, 내부는 림프액으로 채워져 있고, 소리를 받아들이는 데 중심적 역할을 하는 유모세포(hair cell)들이 있다. 소리는 공기의 진동을 통해 외이로부터 중이의 고막에 전달된 후 이소골을 지나 내이로 전달되면서 달팽이관의 램프액에 파동을 일으키게 된다. 이 파동은 기저막이라는 얇은 막을 진동시키며, 이 진동으로 인해 코르티기관에서 전기신호를 만들어 낸다. 코르티 기저막의 움직임은 유모세포에서 수용기 전위를 발생시키고 이 전위가 청신경의 뉴런을 자극하여 최종적으로 대뇌에 전달되어 소리를 듣게 된다.

[0003] 청각이 손실되는 것은 달팽이관 내의 유모세포에 문제가 생기는 경우가 대부분이다. 따라서 유모세포가 발생시키는 전기신호를 외부에서 제공하는 방식으로 소리를 인식할 수 있게 하는 방식으로 체내 이식 가능한 인공 달

팽이관이 개발되어 왔다. 인공와우는 고도 난청 환자에게 전기자극을 이용하여 잔존하는 청신경을 자극함으로써 소리를 감지할 수 있게 해주는 것으로 보청기를 써도 도움을 받지 못하는 고도 난청 환자들에게 유용한 청력을 제공한다.

[0004] 종래 인공와우기술은 다수의 외팔보(Cantilever beam Array) 구조의 다중 채널(multi-channel)로 청각기관으로 유입되는 소리의 주파수 성분을 구분한다. 이러한 피에조(piezo) 방식은 특정 방향으로 압력을 가하면 결정체의 표면에서 전기가 발생하는 성질을 이용한 것으로서, 와우의 특정 위치에 맵핑(mapping)되어 있는 특정 주파수 신호를 개별적으로 제공하기 위하여 복수의 전극을 필요로 한다. 손상된 유모 세포 아래에 있는 수상돌기들에 각 주파수 성분에 맞는 전극 신호를 개별적으로 전달한다.

[0005] 관련 종래기술 한국등록특허 제10-1200355호(이하, '선행특허 1' 이라 약칭한다)는 내이의 기능을 대신하기 위해, 압력을 받으면 전기를 발생하는 특성을 가진 압전박막을 인공기저막 위에 형성하여 압전박막의 변형으로 생긴 전기신호를 전극을 통해 전달하는 구성의 인공와우용 주파수 분리기를 개시한다.

[0006] 피에조 방식의 인공와우는 분석할 수 있는 주파수의 범위가 채널(resolution)에 의해 결정되어 넓히려는 주파수 범위만큼 채널(resolution)도 많아져야 하며, 그에 따라 전선도 늘어나 구조가 복잡해진다. 종래의 캔틸레버 구조의 인공와우는 주파수 연속성이 없어 채널과 채널 사이에 제한되는 범위가 있다는 문제점이 있다. 따라서, 종래의 캔틸레버 구조의 인공와우는 청음 시 분별할 수 있는 음의 주파수 대역이 비선형적임에 따라 청음력이 떨어지며 음색이 왜곡되는 문제점이 있다.

[0007] 한편, 미케노 발광(Mechanoluminescence, ML)은 마찰, 장력, 파괴 등의 기계적 자극을 가함으로써 전자의 이동과 재결합을 야기시키고 이로 인해 인광체(인광물질) 가시광선이 방출되는 현상이다. 황화아연(ZnS)을 비롯해 석영, 암염 등 많은 물질에서 발생한다. 해당 재료에 지속적으로 압력이나 변형을 가하는 장치가 필요하지만, 미케노 발광을 이용하면 바람이나 진동과 같은 자연현상으로 빛을 만들 수 있어 외부 전력이 없어도 기계적 에너지를 빛에너지로 변환하여 빛을 만들 수 있다는 점에서 차세대 친환경 기술로 주목받고 있다. 또한 미케노 발광소재에 유기형광색소의 배합 비율을 달리하여 다양한 색을 표현할 수 있고, 유기형광색소의 확산을 통해 색변환 효율도 높일 수 있어 디스플레이 소자 및 조명으로도 활용할 수 있다.

[0008] 관련 종래기술 한국등록특허 제10-17915110000호(이하, '선행특허 2' 이라 약칭한다)와 미국등록특허 제08056422호는(이하, '선행특허 3' 이라 약칭한다)는 미케노 발광소재의 기계적 외부 자극에 따라 광을 내는 성질을 이용한, 필름과 관절의 응력 분포 파악을 개시한다.

[0009] 상기 선행특허 2는 미케노 발광소재를 혼합하여, 다양한 색 표현이 가능한 필름을 제안한다. 상기 선행특허 2가 개시한 필름은 다양한 색 표현이 필수적인 디스플레이 구현과 친환경 기술로 활용 가능하다.

[0010] 상기 선행특허 3이 개시한 응력 분포 측정 장치는 신체 기능의 노화 및 손상에 따라 골형 밀도 또는 형태의 변화를 분석하며, 관절 임플란트의 변형을 모니터링하기 위한 것이다. 상기 선행특허 3이 개시한 응력 분포 측정 장치는 뼈 표면 응력 분포를 가시화함으로써, 정확하고 저비용으로 응력 분포 파악이 가능한 효과로서 미케노 발광소재를 이용하였다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1200355호

(특허문헌 0002) 한국등록특허 제10-17915110000호

(특허문헌 0003) 미국등록특허 제08056422호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명은 외부 소리 신호의 주파수 정보를 분석하기 위한 청각 보조 장치에 관한 것으로, 공명되는 공진 주파수를 갖는 복수개의 캔틸레버를 사용하는 대신, 새로운 소재를 사용하여 인체의 달팽이관이 갖는 챔버와 기저막

의 구조를 그 기능과 함께 정확히 모사할 수 있는 청각 보조 장치를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 달팽이관을 모사하여 소리의 주파수를 분별하는 청각 보조 장치에 있어서, 내부에 파동을 일으키는 매질이 수용되고, 소리 신호의 자극으로 상기 소리 신호의 주파수 성분에 대응되어 상기 매질의 진행파(Travelling Wave)가 발생되는 챔버부; 및 상기 챔버부 내에 구비되어, 상기 매질의 진행파가 야기하는 기계적 자극으로 전자의 이동과 재결합이 일어나 빛을 발생시키는 기저막을 포함하여, 상기 기저막에서 발생된 빛을 감지하여 감지된 빛의 정보로 상기 소리 신호의 주파수를 분석하는 것을 일 특징으로 한다.

[0014] 바람직하게, 상기 챔버부는, 상기 기저막을 경계로 상부 챔버와 하부 챔버의 두 공간으로 분획될 수 있다.

[0015] 바람직하게, 상기 챔버부는, 측벽에 마련되어 상기 소리 신호의 진동을 매질로 전달하는 오버 윈도우(Oval window)를 포함할 수 있다.

[0016] 바람직하게, 상기 오버 윈도우는, 상기 소리 신호의 자극으로 진동되는 스테이피즈 클립을 포함할 수 있다.

[0017] 바람직하게, 상기 챔버부는, 측벽에 마련되어 상기 오버 윈도우의 진동과 역방향으로 탄성 변형되는 라운드 윈도우(Round window)를 더 포함할 수 있다.

[0018] 바람직하게, 상기 기저막은, 일단에 수직 방향으로 관통된 헬리코트레마(helicotrema)가 형성될 수 있다.

[0019] 바람직하게, 상기 기저막은, 미케노 발광(Mechanoluminescence) 소재일 수 있다.

[0020] 바람직하게, 상기 미케노 발광소재는, 폴리디메틸실록산(PDMS) matrix에 ZnS:Cu 분자가 혼합된 ZnS:Cu-PDMS 복합체로 구성될 수 있다.

[0021] 또한, 상기 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 달팽이관을 모사하여 소리의 주파수를 분별하는 청각 보조 장치에 있어서, 내부에 파동을 일으키는 매질이 수용되고, 소리 신호의 자극으로 상기 소리 신호의 주파수 성분에 대응되어 상기 매질의 진행파가 발생되는 챔버부; 상기 챔버부 내에 구비되어, 상기 매질의 진행파가 야기하는 기계적 자극으로 전자의 이동과 재결합이 일어나 빛을 발생시키는 기저막; 상기 기저막에서 발생된 빛을 감지하는 광센서; 및 상기 광센서로 감지된 빛의 위치 정보를 신호 처리하여 상기 소리 신호의 주파수 성분을 분별하는 프로세서를 포함하는 것을 다른 특징으로 한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 따르면, 기저막은 미케노 발광소재로 구성되어 소리 신호로부터 야기되는 기계적 자극에 의한 광이 소재의 표면 영역을 통해 표출된다. 이 과정에서, 본 발명에 따른 청각 보조 장치는 소리 신호의 주파수에 대응되어 미케노 발광소재의 길이 방향의 표면에 광이 발생된다. 발생된 광을 광센서가 비접촉 방식으로 감지하여 프로세서에서 소리 신호의 선형적인 주파수 분별이 가능하다. 또한, 다수의 전선 등 구조가 복잡하지 않고, 인체 달팽이관과 구조적으로 극히 유사하도록 청각 보조 장치를 구성할 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1a는 인체의 청각 시스템을 도시한 것으로서 말려있는 달팽이관을 펼친 모습을 나타낸다.

도 1b는 인체 달팽이관 내부 기저막의 길이방향으로 위치에 따라 감지되는 주파수의 영역을 나타낸다.

도 1c는 조화가진(harmonic excitation)에 대한 달팽이관 내부 림프액의 이동과 기저막의 진동 모습을 나타낸다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 청각 보조 장치의 구성도를 나타낸다.

도 3은 본 발명의 실험례로서, 주파수 선택성에 따라 상이한 주파수에 대한 진행파 전파 패턴을 나타낸다.

도 4는 본 발명의 실험례로서, 주파수 대역 별, 기저막의 길이방향 표면에서 시간의 경과로 발생된 진동을 합하여 표현한 것이다.

도 5는 본 발명의 실험례로서, 주파수 대역 별, 미케노 발광소재로 제공된 기저막에서 발생된 광을 디지털 카메라(광센서)로 측정한 것이다.

도 6은 본 발명의 실험례로서, 미케노 발광소재로 제공된 기저막의 주파수 대역 별 민감도를 나타내는 그래프

이다.

도 7은 인체 달팽이관, 종래의 ABMs방식의 인공와우, 본 실시예에 따른 ML Membrane 청각 보조 장치의 성능 비교를 정리한 도표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 이하, 첨부된 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다. 다만, 본 발명이 예시적 실시 예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일 참조부호는 실질적으로 동일한 기능을 수행하는 부재를 나타낸다.

[0025] 본 발명의 목적 및 효과는 하기의 설명에 의해서 자연스럽게 이해되거나보다 분명해질 수 있으며, 하기의 기재만으로 본 발명의 목적 및 효과가 제한되는 것은 아니다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이, 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략하기로 한다.

[0026] 도 1a는 인체의 청각 시스템을 도시한 것으로서 말려있는 달팽이관을 펼친 모습을 나타낸다. 도 1b는 인체 달팽이관 내부 기저막의 길이 방향으로 위치에 따라 감지되는 주파수의 영역을 나타낸다. 도 1c는 조화가진에 대한 달팽이관 내부 림프액의 이동과 기저막의 진동 모습을 나타낸다.

[0027] 귀에 부딪히는 소리는 고막을 진동시키고 공기로 가득 찬 중이 안에서 진동은 지렛대 역할을 하는 이소골들을 거쳐 달팽이관으로 전달된다.

[0028] 인체 달팽이관의 구조 및 특성을 나타내는 도 1a, 도 1b 및 도 1c를 참조하면, 달팽이관은 2.75바퀴의 회전을 보이는 나선형 구조를 하고 있으며 펼쳤을 때 길이가 약 35㎜이고, 겉은 뼈로 둘러싸여 있고 내부는 림프액으로 가득 차 있다. 달팽이관 안에는 코르티기관(Organ of Corti)이 있는데 이곳에 약 15,500의 유모세포(hair cell)가 있다. 오버 윈도우를 통해 전달된 기계적 진동 에너지는 림프액의 운동을 일으킨다. 발생된 림프액의 운동은 물결 파동으로 인해 기저막에 진동이 전달되도록 한다. 기저막 전체에는 끝이 가늘고 털이 나 있는 기둥 모양의 감각세포인 유모세포가 분포한다. 기저막에 전달된 진동으로 인하여, 개막(Tectorial membrane)과 유모세포가 마찰을 일으킨다. 유모세포에 의해 기저막의 진동에 의한 역학에너지가 신경전파를 일으키는 에너지로 전환된다. 기저막의 위치별로 소리의 진동 주파수가 분별되고, 신경전파의 진동수에 따라 상위 신경 센터로 전달되는 정보가 달라진다.

[0029] 달팽이관은 중이의 등골(Stapes)에 연결되어 중이가 감지한 소리의 진동을 전달받는다. 이때, 등골에 연결된 달팽이관의 일단을 기저부(Base)라 하고, 달팽이관의 타단을 첨단부(Apex)라 한다. 달팽이관의 기저부는 폭이 좁고 두꺼워 긴장도가 크고, 첨단부는 폭이 넓고 가늘어 긴장도가 적은 편이다. 따라서, 기저부에서 첨단부 방향으로 갈수록 폭이 넓어지는 구조적 특징을 갖는다.

[0030] 달팽이관의 길이 축으로 정렬된 유모세포들과 달팽이관 기저막(Basilar membrane)은 고유한 주파수 감지 특성을 보여주는데 이를 주파수 변별력(Frequency Discrimination)이라 한다. 달팽이관의 기저부는 고주파의 음압에 대해 반응하며, 첨단부는 저주파의 음압에 대해 반응한다.

[0031] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 청각 보조 장치(1)의 구성도를 나타낸다. 본 실시예에 따른 청각 보조 장치(1)는 기계적 자극에 대해 광을 방출하는 미케노 발광소재를 기저막의 구성으로 사용함으로써, 인체의 달팽이관을 구조적 모사할 수 있다.

[0032] 도 2를 참조하면 청각 보조 장치(1)는 인공 달팽이관(10), 광센서(30) 및 프로세서(50)를 포함할 수 있다.

[0033] 인공 달팽이관(10)은 챔버부(100)와 기저막(300)을 포함할 수 있다. 도 2에서는 인공 달팽이관(10)은 한측으로 신장된 길이를 갖도록 도시되었으나, In vivo를 위해 굴곡이나 밴딩 등의 형상적 가변이 이루어져도 무방하다. 인공 달팽이관(10)은 일단에서 소리 신호의 진동을 전달받으며, 소리의 주파수를 기저막(300)이 길이 방향으로 분별하여 인체의 기저막과 유사한 기능을 수행한다. 후술하게 될 기저막(300)의 구성에 의하여 본 실시예에 따른 인공 달팽이관(10)은 인체의 달팽이관의 구조적 형상을 극히 유사하게 모사할 수 있다.

[0034] 챔버부(100)는 내부에 파동을 일으키는 매질이 수용되고, 소리 신호의 자극으로 소리 신호의 주파수 성분에 대응되어 매질의 진행파가 발생되는 영역으로 이해될 수 있다. 본 실시예로, 파동을 일으키는 매질은 유체일 수 있으며, 본 실험례에서는 미네랄 오일(mineral oil)을 사용하였다.

[0035] 챔버부(100)는 기저막(300)을 경계로 상부 챔버(110)와 하부 챔버(130)의 두 공간으로 분획될 수 있다. 상부 챔

버(110)는 인체 내이의 중간계에 대응된다. 하부 챔버(130)는 인체 내이의 고실계에 대응된다.

[0036] 챔버부(100)는 오버 윈도우(150) 및 라운드 윈도우(170)를 포함할 수 있다. 오버 윈도우(150)는 인체 내이의 난원창에 대응된다. 라운드 윈도우(170)는 인체 내이의 정원창에 대응된다. 챔버부(100)는 일단에 소리 신호의 진동을 감지 받는 오버 윈도우(150)가 형성되며 타단은 폐쇄되어 내부 파동을 일으키는 매질을 수용한다.

[0037] 오버 윈도우(150)는 챔버부(100)의 측벽에 마련되어 소리 신호의 진동을 매질로 전달할 수 있다. 본 실시예로, 오버 윈도우(150)는 상부 챔버(110)의 일단 측벽에 마련될 수 있다. 오버 윈도우(150)는 소리 신호의 자극으로 진동되는 스테이피즈 클립(1501)을 포함할 수 있다. 스테이피즈 클립(1501)은 인체 내이의 등골에 대응된다.

[0038] 라운드 윈도우(170)는 챔버부(100)의 측벽에 마련되어 오버 윈도우(150)의 진동과 역방향으로 탄성 변형될 수 있다. 본 실시에로, 라운드 윈도우(170)는 하부 챔버(130)의 일단 측벽에 마련될 수 있다.

[0039] 오버 윈도우(150)에 압력파동이 발생하면 오버 윈도우(150)가 챔버부(100)의 내측으로 휘어지면서 압력파동이 생기며, 압력파동은 상부 챔버(110)에 있는 매질을 밀어내고 기저막(300)을 수직 방향으로 관통한 헬리코트레마(310)를 돌아 하부 챔버(130)로 이동하면서 라운드 윈도우(170)가 챔버부(100)의 바깥측으로 휘어져 압력증가가 해소된다. 도 2를 참조하면, 라운드 윈도우(170)와 오버 윈도우(170)는 챔버부(100)의 같은 측벽 방향에 구성된다. 이는 헬리코트레마(310)를 기준으로 매질의 순환 경로가 'ㄷ' 자가 되어 챔버부(100)의 내부 경로가 최대 길이가 되도록 하기 위함이다.

[0040] 기저막(300)은 챔버부(100) 내에 구비되어, 매질의 진행파가 야기하는 기계적 자극으로 전자의 이동과 재결합이 일어나 빛을 발생시킬 수 있다. 본 실시예에 따른 기저막(300)으로 인하여, 청각 보조 장치(1)는 기저막(300)에서 발생된 빛을 감지하여 감지된 빛의 정보로 소리 신호의 주파수를 분석할 수 있다.

[0041] 기저막(300)은 달팽이관의 기저막을 모사한 것이므로, 달팽이관과 마찬가지로 기저막(300)의 기저부에서 첨단부 방향으로 갈수록 폭이 넓어지는 구조를 갖는다. 본 실시예로, 기저막(300)은 골나선판(Osseous spiral lamina)을 베이스로 포함하여, 챔버부(100)에 구비될 수 있다. 골나선판은 기저막보다 폭이 넓고 길이가 길며, 기저막과 달리 기저부에서 첨단부 방향으로 갈수록 폭이 좁아지는 구조를 갖는다.

[0042] 기저막(300)은 일단에 수직 방향으로 관통된 헬리코트레마(helicotrema)(310)가 형성될 수 있다. 인체의 달팽이관에서 헬리코트레마는 일반적인 조직과 달리 달팽이관이 수축하면 헬리코트레마는 커지고, 달팽이관이 이완하면 헬리코트레마는 정상크기로 작아진다. 이명은 극히 미세한 헬리코트레마의 크기 변화에 민감하게 반응하므로 헬리코트레마 조직이 유연성을 유지하는 것이 중요하다. 이를 반영하여 본 실시예에 따른 골나선판은 헬리코트레마(310)가 형성된 단부가 유연한 소재로 이루어질 수 있다. 헬리코트레마(310)는 상부 챔버(110)와 하부 챔버(130)를 연통시키는 통로로서 챔버부(100) 내부의 매질을 유통시킨다. 헬리코트레마(310)는 길이 방향으로 형성된 챔버부(100)의 단부에 형성됨에 따라, 챔버부(100)의 매질은 'ㄷ' 형상의 경로로 수용된다.

[0043] 기저막(300)은 미케노 발광소재일 수 있다.

[0044] 미케노 발광은 마찰, 장력, 파괴 등의 기계적 자극을 가함으로써 전자의 이동과 재결합을 야기시키고 이로 인해 인광체(인광물질) 가시광선이 방출되는 현상이다. 챔버부(100)의 내부 매질의 이동으로 미케노 발광소재의 기저막(300)에 기계적 자극을 가하면, 기저막(300)은 자극에 따라 특정 위치에서 가시광선을 방출한다. 이때, 미케노 발광소재에 유기형광색소의 배합 비율을 달리하면 다양한 색의 가시광선을 방출할 수 있다.

[0045] 예컨대, 청색 및 녹색 광을 발현하는 발광 재료로서 구리 도핑된 황화아연(copper-doped zinc sulfide(이하, Zns:Cu))을 사용하고, 적색 광을 발현하는 발광 재료로서 구리, 망간 도핑된 황화아연(이하, ZnS:Cu,Mn)을 사용한다. 즉, 상기 청색 및 녹색광을 발현하는 발광 재료로서 ZnS:Cu를 동일하게 사용하지만, 상기 ZnS:Cu에 가해지는 응력의 발생 주기가 변경됨에 따라, 청색광이 발현되거나, 녹색광이 발현될 수 있다. 이는 ZnS:Cu에서 Cu의 도핑위치가 다양한 에너지 준위에 위치하기 때문이다.

[0046] 따라서, 발광 재료는 다양하게 사용될 수 있으며, 본 발명에서 사용될 수 있는 발광 재료는 명세서에 기재된 재료에 한정되지 않고 미소변형에 수반하여 발광하는 종류의 재료가 사용될 수 있다.

[0047] 미케노 발광소재는 폴리디메틸실록산(PDMS) matrix에 ZnS:Cu 분자가 혼합된 ZnS:Cu-PDMS 복합체로 구성될 수 있다. 발광 소자를 제작하기 위해서는 소재의 향상된 기계적 발광 강도 및 수명의 재료 특성이 보장되어야 한다. 이를 위해, 발광소재로는 기계적 자극전달 재료로서 탄성력이 매우 강하고 내구성이 좋은 투명 PDMS를 사용할 수 있다. 또한, 유기재료로는 PDMS를 포함하여 광학적으로 투명(가시광 영역에서 투과도 80%이상)하고 내구성이

강한 실리콘 고무나 UV curable epoxy 등도 폭넓게 사용될 수 있다.

[0048] 폴리디메틸실록산(PDMS) matrix는 기계적 자극전달 재료로서 세 가지 장점이 있다. 첫째, 계면에너지(interfacial free energy)가 낮기에 발광 재료와 혼합되는 경우 발광 재료와 접착하지 않는다. 강한 접착을 하면, 여러 변형 상태에서 접착면이 미끄러짐에 따라 계면상태가 파괴되는 현상이 발생할 수 있다. 그러나 PDMS의 경우 발광 재료의 표면에 악영향을 미치지 않고 안정적으로 반복적인 응력을 전달할 수 있다. 둘째, PDMS는 광학적으로 투명해서 기계적 발광한 빛이 외부로 광손실 없이 그대로 전달될 수 있다. 셋째, PDMS는 내구성이 강해서 장시간 반복적인 자극을 가해도 파괴가 일어나지 않는다.

[0049] 광센서(30)는 기저막(300)에서 주파수에 따라 발생된 빛의 위치를 비접촉 방식으로 감지할 수 있고, 광센서(30)를 통해 시각화할 수 있다. 본 실시예로, 광센서(30)는 광학 카메라의 구성으로 도시하였으나 광을 감지하는 소재이면 무방하다.

[0050] 프로세서(50)는 광센서(30)로 감지된 빛의 위치 정보를 신호 처리하여 소리 신호의 주파수 성분을 분별할 수 있다. 주파수 범위에 따라 채널(resolution)수가 많아져야 하는 다수의 외팔보(Cantilever beam Array)방식과 달리, 광센서(30)로 빛의 위치만을 감지하므로 채널 제한 없이 연속적 주파수 분석이 가능하다.

[0052] **실험례1. mechanoluminescence(ML) 기저막 제작**

[0053] ML 기저막은 상업적으로 이용 가능한 ZnS : Cu (LONCO Company Limited)와 PDMS (Sylgard 184 Silicone Elastomer)의 복합체를 합성하여 제작한다. 처음에는 경화제 (Sylgard 184 B)를 포함하는 액체 PDMS (Sylgard 184 A)를 10 : 1의 중량비로 원통형 플라스틱 용기에 넣고 30 wt %의 ZnS : Cu를 첨가한다. ZnS : Cu를 PDMS에 균일하게 분산시키고 응집을 피하기 위해 10mm 알루미나 분쇄 볼 몇 개를 추가하고, 용기를 400rpm의 혼합 속도로 10분 동안 유성 전단 믹서로 혼합한다. 최종적으로, 복합체를 진공 챔버 내에서 10분 동안 탈기하여 기포를 제거한다. 다만, 이보다 먼저 0.30 mm 두께의 페이퍼 테이프를 사용하여 유리판 상에 210 mm × 70 mm 직사각형 몰드를 제조하고, ZnS : Cu / PDMS 복합 재료는 "doctor blade" 기술을 사용하여 주조한다. 유리판을 응고를 위해 2시간 동안 60℃의 진공 오븐에 두고, 응고된 ML 시트를 유리판으로부터 벗겨 내고 실험한다.

[0055] **실험례2. ML 기저막으로부터 방출된 광의 이미지 처리**

[0056] 외부 소리 신호에 의한 ML 기저막의 반응을 광센서로 측정한 ML 영상을 R, G, B 채널로 나누었다. 입력 ML 이미지의 B 채널 (녹색 방출)이 우세했기 때문에 B 채널의 임계값을 지정하여 B 채널의 픽셀값을 추출한다. R 및 G 채널의 픽셀값과 B 채널의 임계값 미만의 픽셀값은 0으로 설정한다. 기준점(기본)에서 0이 아닌 픽셀까지의 평균 거리를 계산하기 위해 0이 아닌 픽셀의 수를 0이 아닌 픽셀과 기준점 사이의 픽셀 수로 나눈다. C ++ 인터페이스가 있는 Open CV (오픈 소스 컴퓨터 비전) 라이브러리를 실시간 이미지 처리에 사용한다.

[0057] 도 3은 본 발명의 실험례로서, 주파수 선택성에 따라 상이한 주파수에 대한 진행파 전파 패턴을 나타낸다.

[0058] 도 3을 참조하면, 인체의 기저막은 주파수 선택적 특성을 가져서 주파수에 따라 다른 진행파 전파 패턴을 보인다. 기저막은 달팽이관의 단단한 기저부에서보다 유연한 첨단부로 움진인다. 전파는 처음에는 증가해서 최고점에 달하지만, 그 후에는 빠르게 감소한다. 최대 진폭의 위치는 가해지는 음파의 진동수에 따라 달라져서 주파수가 증가함에 따라 기저막의 최대 진폭에 도달한 위치가 첨단부에서 기저부로 이동하였다.

[0059] 도 3의 왼쪽 그래프인 150Hz의 고주파에서는 최대 진폭이 첨단부 쪽에 위치하며, 오른쪽 그래프인 25Hz의 저주파에서는 최대 진폭이 기저부 쪽에 위치함을 확인할 수 있다.

[0060] 도 4는 본 발명의 실험례로서, 각 (a)25Hz, (b)50Hz, (c)100Hz, (d)150Hz 주파수 대역 별, 기저막의 길이방향 표면에서 시간의 경과로 발생된 진동을 합하여 표현한 것이다. 도 4의 파란색 도트는 진동하는 기저막(300)의 최대 진폭의 위치를 나타낸다.

[0061] 스테이피즈 클립(1501)과 연결된 오버 윈도우(150)의 자극으로 유체가 이동하여, 기저막(300)에서 진행파가 발생한다. 진행파의 모양은 고주파일수록 기저부 근처에서 왜곡되며, 100Hz의 그래프보다 150Hz의 그래프에서 기저막(300)의 최대 진폭 위치가 기저부에 더 가깝고 변위가 더 크다. 저주파일수록 첨단부 근처에서 약간 왜곡되며 저주파의 진행파 모양은 현저한 변화를 보이지 않는다. 다만, 50Hz보다 더 낮은 25Hz 주파수의 그래프에서 기저막(300)의 최대 진폭 위치가 기저부로부터 더 멀고 변위가 더 작다. 따라서, 도 4를 통해 기저막(300)의 주

파수 선택적 특성과 주파수에 따른 기저막 진동 변화를 확인할 수 있다.

[0062] 도 5는 본 발명의 실험례로서, 각 (a,b)110Hz, (c,d)80Hz, (e,f)40Hz 주파수 대역 별, 미케노 발광소재로 제작된 기저막에서 방출된 광을 광센서(30)로 측정한 것이다. 기저막(300)의 반응을 광센서(30)를 통해 시각화할 수 있다. 도 5 (b,d,f)는 기저막(300)의 발광 위치를 강조하기 위해 밝게 보정된 이미지이다. 도 5 (g)는 도 5 (e)를 화상 처리한 것으로서, 도 5 (e)의 거리 비율(distance ratio) 값을 이용하였다. 도 5에서의 카메라 노출은 발광소재로 구성된 기저막(300)의 강도가 낮아서 5초로 길게 설정되었다. 그러나, 기저막(300)의 강도가 이미지 처리를 하는 데에 충분히 높다면, 실시간으로 이미지를 포착할 수 있다. 도 5 (a,c)에서 두 개의 피크가 관찰되었고, 거리 비율을 결정하는 데는 첫 번째 피크가 사용되었다.

[0063] 도 6은 본 발명의 실험례로서, 미케노 발광소재로 제공된 기저막(300)의 주파수 대역 별 민감도를 확인할 수 있다. 도 6의 민감도 곡선은 $y = -0.126\ln(x) + 0.646$ 식을 이용하여 나타냈다. y는 거리 비율(Distance ratio)을 나타내고, x는 주파수(Hz)를 나타낸다. 거리 비율은 입력 주파수에 대해 로그함수 형태인 것으로 보인다. 유체 구조 결합 음향 해석과 기저막(300)이 있는 인공 달팽이관(10)을 사용한 실험을 통해, 미케노 발광소재로 구성된 청각보조장치(1)가 인간 달팽이관과 유사한 주파수 선택적 특징을 갖는다는 것을 입증한다.

[0064] 도 6의 파란색 실선은 $y = -0.22\ln(x) + 1.31$ 식을 이용한 감도 곡선이다. 그러나, 실제 측정된 감도와 위 식을 통해 유도된 감도 사이에는 약간의 차이가 있다. 이러한 차이가 나는 이유는 기저막(300)이 점탄적 특성이 있다고 가정하였기 때문이며, 이상적인 Rayleigh damping model을 음향 해석에 사용하였기 때문이다. 감도 곡선은 다른 프로토타입 디자인을 사용하여 조정할 수 있다. 예를 들어, 다른 점성 유체(미네랄 오일보다 높은 체적 탄성계수의 브레이크 오일)을 사용하거나, 원래 두께(0.6mm)보다 얇은 두께의 기저막을 사용한다면 동일한 주파수에서 측정하더라도 첨단부 방향(즉, 더 높은 거리 비율)으로 길게 이동할 수 있다.

[0065] 도 7을 참조하면, 인체 달팽이관, 종래의 ABMs방식의 인공와우, 본 실시예에 따른 ML Membrane 청각 보조 장치의 성능 비교를 할 수 있다. 종래의 ABMs방식의 인공와우는 외부 소리 신호에 의한 진행파가 생성되는 인체 달팽이관과 본 실시예에 따른 ML Membrane 청각 보조 장치와 달리 진행파가 생성되지 않는다. 또한, 종래의 ABMs방식의 인공와우가 분별할 수 있는 주파수 범위는 채널 수에 의해 결정되어, 넓은 주파수 범위까지 분별하기 위해서는 다수의 채널을 포함해야 한다. 그래서 채널의 수가 많아질수록 ABMs방식의 인공와우의 크기는 커지게 된다.

[0066] 그러나, 본 실시예에 따른 ML Membrane 청각 보조 장치는 외부 소리 신호에 따른 ML Membrane의 발광 반응을 비접촉 광센서를 사용하여 주파수를 분별하므로 주파수 분별 범위가 채널 수에 의해 제한되지 않는다.

[0067] 이상에서 대표적인 실시예를 통하여 본 발명을 상세하게 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 상술한 실시예에 대하여 본 발명의 범주에서 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 변형이 가능함을 이해할 것이다. 그러므로 본 발명의 권리 범위는 설명한 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 특허청구범위와 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변형된 형태에 의하여 정해져야 한다.

부호의 설명

[0068] 1: 청각 보조 장치

10: 인공 달팽이관

100: 챔버부

110: 상부 챔버

130: 하부 챔버

150: 오버 윈도우(Oval window)

1501: 스테이피즈 클립

170: 라운드 윈도우(Round window)

300: 기저막

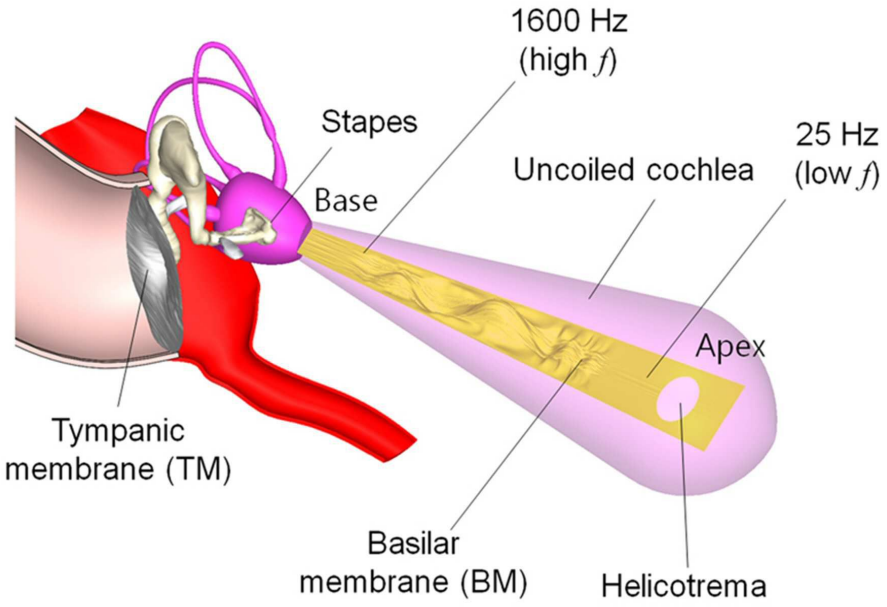
310: 헬리코트레마(helicotrema)

30: 광센서

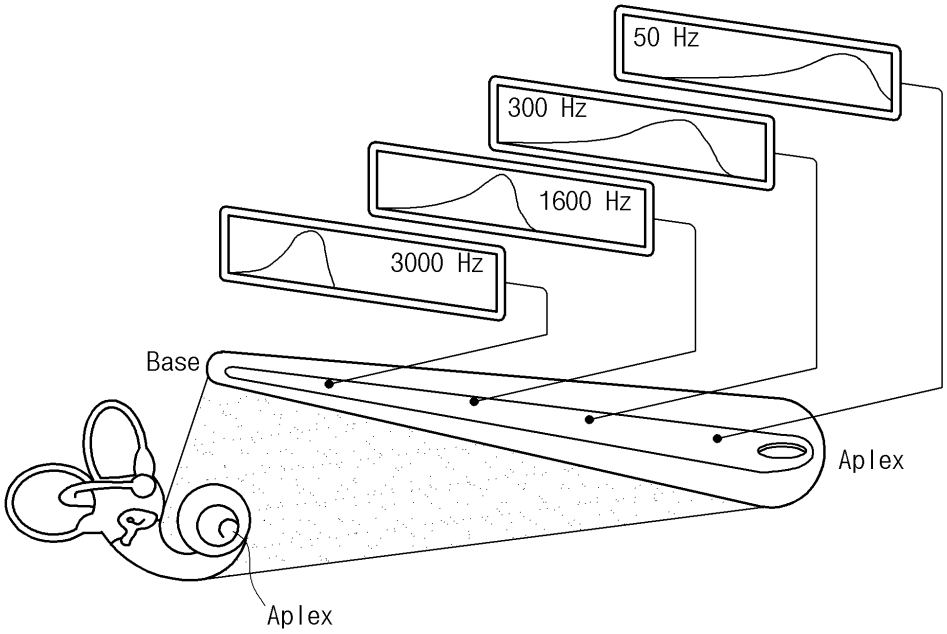
50: 프로세서

도면

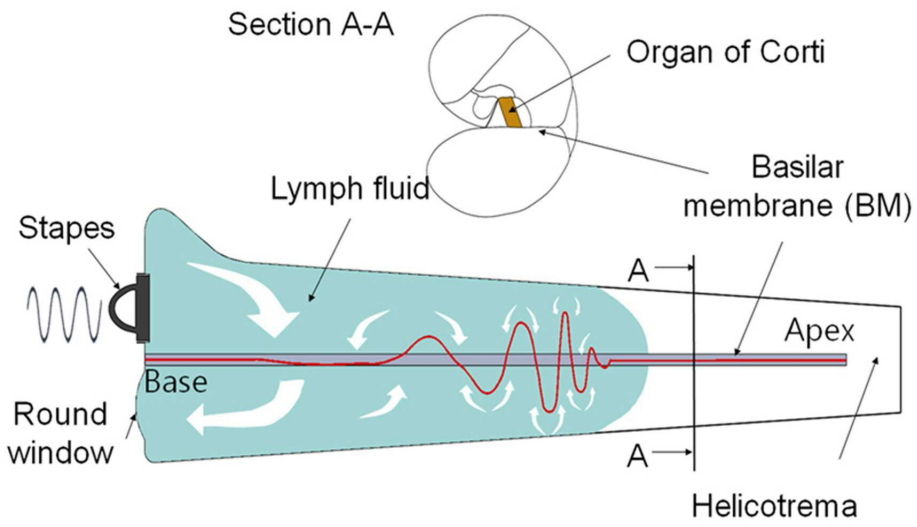
도면1a



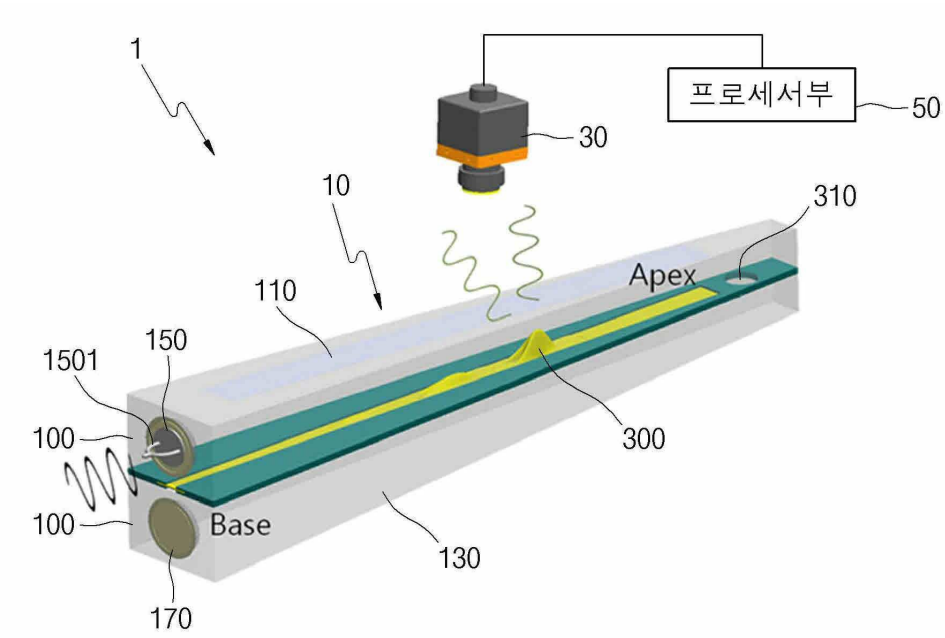
도면1b



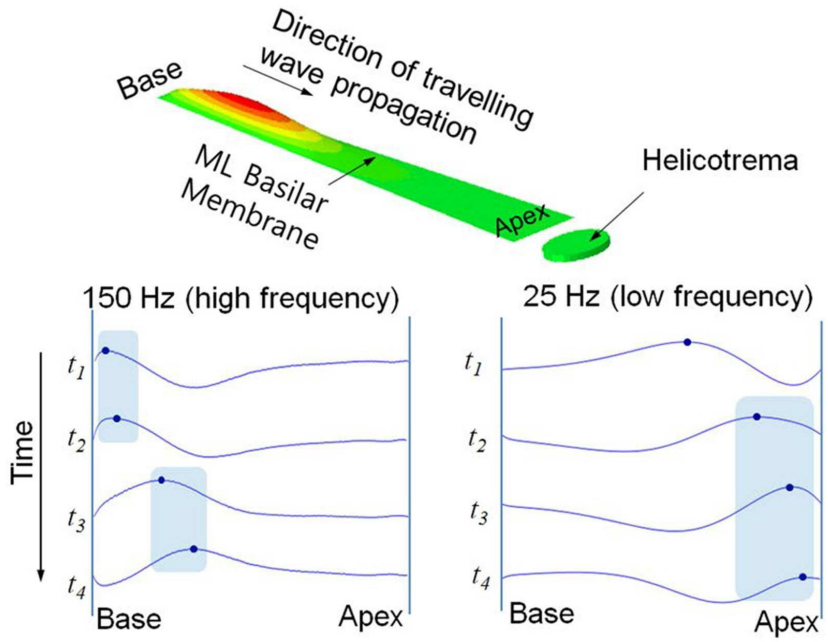
도면1c


Section A-A
Organ of Corti
Basilar
membrane (BM)
Lymph fluid
Stapes
A
Apex
Base
Round
window
A
Helicotrema

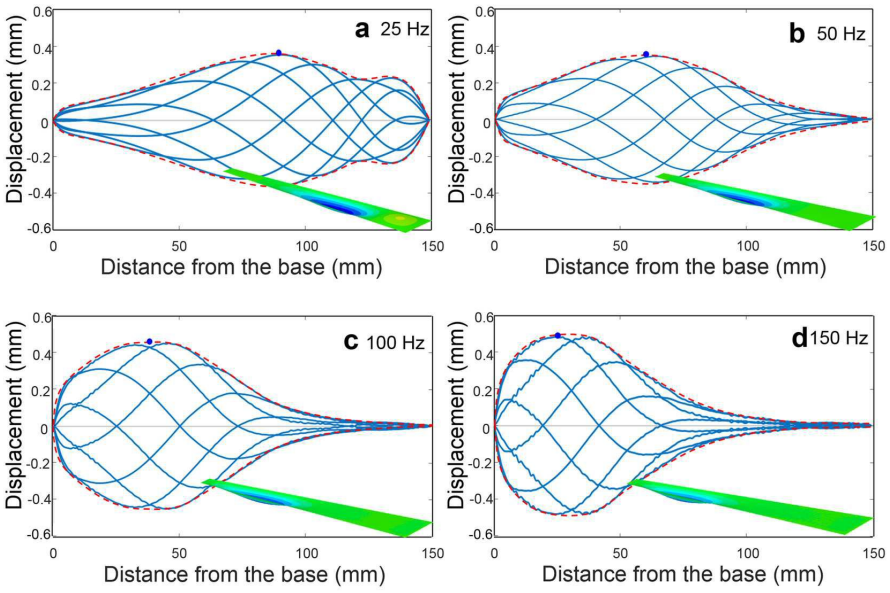
도면2


1
프로세서부
50
30
10
310
Apex
110
150
1501
100
300
100
Base
130
170

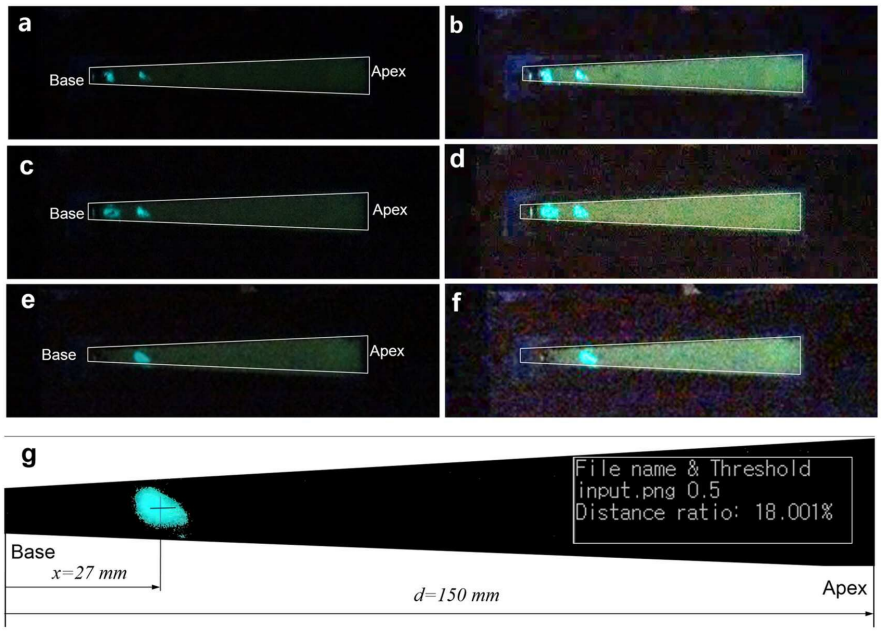
도면3


Direction of travelling wave propagation
Base
ML Basilar Membrane
Apex
Helicotrema
150 Hz (high frequency)
25 Hz (low frequency)
Time
t_1
t_2
t_3
t_4
Base
Apex
Base
Apex

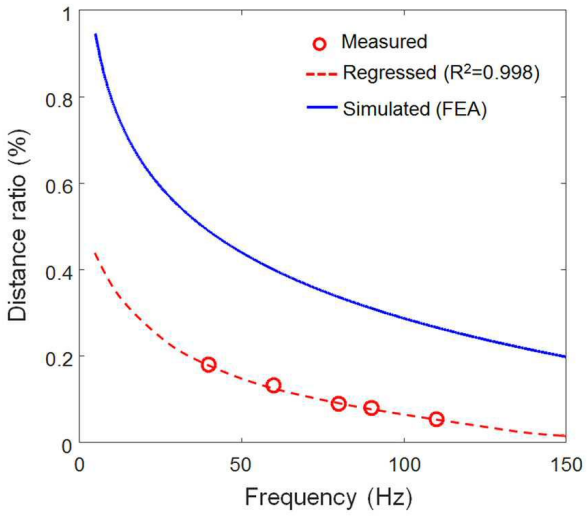
도면4


a 25 Hz
b 50 Hz
c 100 Hz
d 150 Hz
Displacement (mm)
Distance from the base (mm)
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
-0.4
-0.6
0
50
100
150

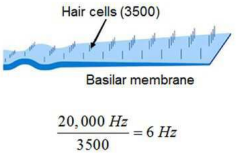
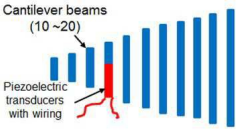
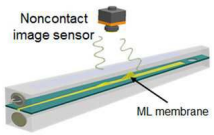
도면5


a
Base
Apex
b
c
Base
Apex
d
e
Base
Apex
f
g
File name & Threshold
input.png 0.5
Distance ratio: 18.001%
Base
x=27 mm
d=150 mm
Apex

도면6


Measured
Regressed (R²=0.998)
Simulated (FEA)
Distance ratio (%)
Frequency (Hz)
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
0
50
100
150

도면7

Index	Human Cochlea	Current ABMs	ML Membrane
Travelling Wave	O	X	O
Frequency Selectivity	Inner Hair Cells	Cantilever Beam Array	Noncontact Image Sensor
Channels (Resolution)	3500	10 ~ 20	Infinity
Frequency Ranges	20 ~ 20 kHz	10 ~ 300 kHz	10 ~ 0.2 kHz*
Schematic	 $\frac{20,000\ Hz}{3500} = 6\ Hz$	 $\frac{20,000\ Hz}{20} = 1000\ Hz$	 Continuous

* For initial macro-scale prototype