



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0015782
(43) 공개일자 2010년02월12일

(51) Int. Cl.

H01L_41/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-7022022

(22) 출원일자 2008년03월21일

심사청구일자 **없음**

(85) 번역문제출일자 2009년10월21일

(86) 국제출원번호 PCT/KR2008/057865

(87) 국제공개번호 WO 2008/116173

(87) 국제공개번호 WO 2008/116173
국제공개일자 2008년09월25일

국제승객출자 2008년09월25일
(20) 우선권증자

(50) 구진면구정

60/896,077 2007년03월21일 미국(US)

(71) 출원인

더 유니버시티 오브 버몬트 앤드 스테이트 어그리컬처럴 칼리지

미국 버몬트 05405 버링턴 사우스 프로스펙트 스트리트 85

(72) 발명자

안도스카. 로버트. 지.

미국 뉴욕 14604 로체스터 유닛 605 노쓰 워터 스트리트 176

주 룰

미국 버몬트 05403 사우쓰 버링تون 화이트페이스
스트립트 1

(74) 대로이

제10장

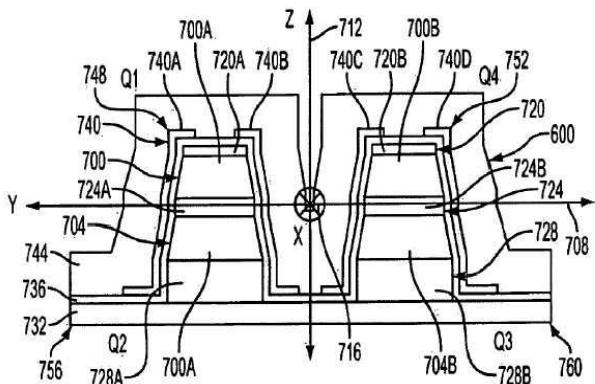
전체 청구항 수 : 총 33 항

(54) 파라메트릭 굽힘 모드 에너지 수확동작이 통합된 압전기 진동 에너지 수확 시스템

(57) 요약

진동 에너지 수확(VEH: vibrational energy harvesting) 구조는, 각각이 기본 공진 주파수와 파라메트릭 모드 주파수를 갖고 그리고 빔의 기본 공진 여기와 파라메트릭 모드 여기(勵起)에 각각 응답하는 전기적 전하를 발생하는 적어도 1개의 압전기 층을 가진 공진 빔을 구비한 구성이다. 상기 공진 빔에서 전기적 전하를 수확하기 위해 회로가 설치된다. 임의 실시예에서는 상기 빔의 파라메트릭 모드 주파수가 VEH 구조의 유효 대역폭이 증가하게 기본 공진 주파수에 가깝게 되게 튜닝된다. VEH 구조의 유효 대역폭은 부가로 복합 파라메트릭 모드 동작 가능 공진 빔의 것을 약간 다른 기본 공진 주파수와 파라메트릭 모드 주파수로 튜닝하여 증가시킬 수 있다.

대표도 - 도7



특허청구의 범위

청구항 1

진동 에너지 수확기는 횡방향 횡단면 성질을 가진 공진기 빔과, 제1굽힘 방향으로의 기본 공진 주파수 및 상기 제1굽힘 방향에 대해 직교하는 제2굽힘 방향으로의 파라메트릭 모드 주파수를 포함하며; 상기 횡단면 성질은 제1소망 주파수로 상기 기본 공진 주파수를 튜닝하고 그리고 제2소망 주파수로 상기 파라메트릭 모드 주파수를 튜닝하게 선택되고; 상기 공진기 빔은 각각의 상기 제1 및 제2굽힘 방향으로의 공진기 빔의 굽힘에 반응하는 전기적 에너지를 발생하는 압전기 재료를 갖춘 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 공진기 빔은 상기 제1굽힘 방향용 제1굽힘 축선과 상기 제2굽힘 방향용 제2굽힘 축선을 갖고; 상기 제1 및 제2굽힘 축선은, 제1 및 제2사분면이 상기 제1굽힘 축선의 반대편 측에서 서로 마주하고 그리고 제2 및 제3사분면이 상기 제2굽힘 축선의 반대편 측에서 서로 마주하게, 제1, 제2, 제3 그리고 제4사분면을 한정하고; 상기 공진기는 부가로, 서로 이격되고 그리고 상기 제1, 제2, 제3 및 제4사분면의 각각의 하나에 대응하여 위치한 제1, 제2, 제3 및 제4전극을 구비한 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 압전기 재료의 제1부분은 상기 제1 및 제2전극 사이에 위치하고 그리고 상기 압전기 재료의 제2부분은 상기 제3과 제4전극 사이에 위치한 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 압전기 재료의 제1 및 제2부분은 서로 이격 분리된 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 제1 및 제2전극 사이에 위치하고 이격져 있는 제5전극과 상기 제3 및 제4전극 사이에 위치하고 이격져 있는 제6전극을 부가로 포함하고; 상기 압전기 재료의 제1부분은 상기 제1과 제5전극 사이에 위치하고, 상기 압전기 재료의 제2부분은 상기 제4와 제6전극 사이에 위치하고, 상기 압전기 재료의 제3부분은 상기 제5와 제2전극 사이에 위치하고, 그리고 상기 압전기 재료의 제4부분은 상기 제6과 제3전극 사이에 위치한 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 6

제5항에 있어서, 상기 제1 및 제2부분은 서로 이격 분리되고 그리고 상기 제3 및 제4부분은 서로 이격 분리된 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 7

제5항에 있어서, 상기 제5와 제6전극 각각은 상기 제1굽힘 축선에 걸쳐 있는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 8

제5항에 있어서, 각각의 제1, 제2, 제3, 제4, 제5, 제6전극과 전기적 통신하고 그리고 서로 독립적인 각각의 제1, 제2, 제3 그리고 제4사분면에서 전기적 에너지를 수확하기 위한 구조로 이루어진 수확 회로를 부가로 구비한 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 공진기 빔은 외팔보 빔인 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 기본 공진 주파수는 50Hz 내지 1500Hz 범위에 있는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확

기.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 기본 공진 주파수는 50Hz 내지 250Hz 범위에 있는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화기.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 공진기 빔의 횡방향 횡단면 성질은 상기 파라메트릭 모드 주파수가 상기 기본 공진 주파수의 5Hz 내에 있게 선택되는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화기.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 횡방향 횡단면 성질은 상기 제1굽힘 방향에 대해 평행한 방향으로의 두께와 상기 제2굽힘 방향에 대해 평행한 방향으로의 두께를 갖고, 상기 폭은 상기 두께의 1 내지 8배 범위에 있는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화기.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 폭은 상기 두께의 1 내지 3배 범위에 있는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화기.

청구항 15

진동 에너지 수화 유닛은:

서로 전기가 통하게 연결된 복수개의 PVEH 모듈을 포함하고; 각각의 상기 PVEH 모듈은, 각각이 기본 공진 여기 와 파라메트릭 모드 여기의 각각에서 전기적 전하를 수화하는 구조로 이루어진 복수개의 PME PVEH를 구비한 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화 유닛.

청구항 16

제15항에 있어서, 각각의 상기 PME PVEH 빔은 파라메트릭 모드 굽힘 중립 축선을 갖고 그리고 상기 파라메트릭 모드 굽힘 중립 축선의 반대편 측에 위치한 제1 및 제2압전기/전극 스택을 구비한 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화 유닛.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 제1압전기/전극 스택은 제1 복수개의 전극을 구비하고 그리고 상기 제2압전기/전극 스택은 상기 파라메트릭 모드 굽힘 중립 축선을 횡단하는 상기 제1 복수개의 전극에서 이격져 있는 제2 복수개의 전극을 구비한 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화 유닛.

청구항 18

제16항에 있어서, 각각의 상기 복수개의 PME PVEH 빔은 바이모프 압전기 빔인 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화 유닛.

청구항 19

제15항에 있어서, 각각의 상기 복수개의 PVEH 모듈의 복수개의 PME PVEH 빔은 공통 면을 따라서 놓여지고 그리고 상기 복수개의 PVEH 모듈은 상기 공통 면에 직교하는 방향으로 상호 적층되어 고정된 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화 유닛.

청구항 20

제15항에 있어서, 상기 복수개의 PME PVEH 빔은 각각의 대응하여 서로 다른 튜닝을 가진 복수개의 세트에 제공되고, 상기 서로 다른 튜닝은 다른 기본 공진 주파수와 다른 파라메트릭 모드 주파수를 갖는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수화 유닛.

청구항 21

제20항에 있어서, 상기 다른 기본 공진 주파수들은 상기 다른 기본 공진 주파수의 바로 인접한 주파수로부터 5Hz 미만 다른 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 다른 기본 공진 주파수들은 상기 다른 기본 공진 주파수의 대응하는 각각의 주파수로부터 5Hz 미만 다른 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 23

제15항에 있어서, 각각의 상기 복수개의 PME PVEH 빔은 기본 공진 주파수와 상기 기본 공진 주파수의 5Hz 내의 파라메트릭 모드 주파수를 갖는 것을 특징으로 하는 진동 에너지 수확기.

청구항 24

무선 센서는:

데이터를 수집하는 변환기와;

상기 무선 센서에서 이격져 있는 수신기로 상기 데이터를 전송하는 무선 전송기; 및

각각의 상기 변환기와 상기 무선 센서와 전기적으로 통신하는 PME PVEH 전력 공급기를 포함하고;

상기 PME PVEH 전력 공급기는, 사용 시, 상기 변환기와 상기 무선 전송기를 사용하는 동안 전력을 사용하기 위한 전기적 전력을 발생하게, 무선 센서에 주변 환경의 진동 에너지를 수집하기 위한 구조를 갖는 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 25

제24항에 있어서, 상기 PME PVEH 전력 공급기는 복수개의 공진 빔을 구비하고, 각각의 공진 빔은 파라메트릭 모드 굽힘 중립 축선을 갖고 그리고 상기 파라메트릭 모드 굽힘 중립 축선의 반대편 측에 위치한 제1 및 제2압전기/전극 스택을 구비한 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 26

제25항에 있어서, 상기 제1압전기/전극 스택은 제1 복수개의 전극을 갖고 그리고 상기 제2압전기/전극 스택은 상기 파라메트릭 모드 굽힘 중립 축선을 횡단한 상기 제1 복수개의 전극에서 이격된 제2 복수개의 전극을 구비한 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 27

제25항에 있어서, 각각의 상기 복수개의 빔은 바이모프 압전기 빔인 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 28

제23항에 있어서, 상기 PME PVEH 전력 공급기는 각각 복수개의 공진 빔을 갖는 복수개의 모듈을 구비하고 그리고 각각의 상기 복수개 모듈의 복수개 빔들은 공통 면을 따라서 놓여지고 그리고 상기 복수개의 모듈은 상기 공통 면에 직교하는 방향으로 상호 적층되어 고정된 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 29

제23항에 있어서, 상기 PME PVEH 전력 공급기는, 각각의 대응하는 서로 다른 튜닝을 가진 복수개의 세트에 제공된 복수개의 공진 빔을 구비하고, 상기 서로 다른 튜닝은 다른 기본 공진 주파수와 다른 파라메트릭 모드 주파수를 갖는 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 30

제28항에 있어서, 상기 다른 기본 공진 주파수들은 상기 다른 기본 공진 주파수의 바로 인접한 주파수로부터 5Hz 미만 다른 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 31

제29항에 있어서, 상기 다른 기본 공진 주파수들은 상기 다른 기본 공진 주파수의 대응하는 각각의 주파수로부터 5Hz 미만 다른 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 32

제24항에 있어서, 각각의 상기 PME PVEH 전력 공급기는, 각각이 기본 공진 주파수와 상기 기본 공진 주파수의 5Hz 내의 파라메트릭 모드 주파수를 갖는, 복수개의 공진 빔을 구비한 것을 특징으로 하는 무선 센서.

청구항 33

제24항에 따르는 복수개의 무선 센서를 포함하는 무선 센서 네트워크.

명세서

기술 분야

[0001]

본 발명은 진동 에너지 수확 분야에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 파라메트릭 흡힘 모드 에너지 수확동작이 통합된 압전기 진동 에너지 수확 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

사반세기에 걸쳐, ICs(integrated circuits) 통합 수준은 급격하게 향상되었다. 동시에, 대응적으로 ICs의 크기는 현저하게 줄어졌다. 예를 들어, MOSFET(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) 게이트의 폭은 45nm 정도로 주어지고 그리고 2010년 안에 18nm로 하는 것으로 계획되어 있다. 이 크기는 사람 머리카락의 폭의 1/500 보다 작은 크기이다. IC성분은 크기의 급격한 감소뿐만 아니라, 전력소비도 감소된 것이다. ICs는 일반적으로 CMOS(complementary metal-oxide semiconductor)회로를 사용하여 제조되며, 상기 회로는 듀얼 n-FET 및 p-FET 디바이스로 제조된다. CMOS회로는 순수 nMOS 또는 순수 pMOS회로 보다 훨씬 더 적은 전력을 소비한다.

[0003]

ICs의 크기 감소와 전력 소비의 감소는 정확히 10년전만 해도 활용할 수 없었던 최근의 무선 IC기술의 확산을 이끌었다. 오늘날에는 저-전력 무선회로를 사용하는 다양한 디바이스가 있는데, 몇몇의 이름을 거론한다면, 랩탑 컴퓨터, 셀 폰, MP3플레이어, 스마트 폰, 전화 헤드셋, 헤드폰, 라우터, 게임 컨트롤러, 모빌 인터넷 어댑터, 및 스파이 카메라가 있다. 물론, 상기 디바이스의 각각은 임의 종류의 작업에 따른 자체작동 전력 공급원을 필요로 하는 것이다. 상기 디바이스용의 전형적인 전력 공급원은 전기 배터리이며, 흔히 교체형 배터리이다.

[0004]

현재 상당한 관심을 끌면서 많은 연구 목적의 대상으로 있는 무선 센서 네트워크 분야이다. 실질적으로, 연구원들은 미래에 무선 센서 네트워크(WSNs)을 광범위하게 채택하는 것을 계획하고 있다. WSNs에서, 무선 센서는 특정 환경의 전반에 걸쳐 배치되어 중앙 허브로 측정 데이터를 중계하는 ad-hoc 네트워크 또는 망을 형성한다. 상기 특정 환경은 많은 다른 것들 중에서 자동차, 항공기, 공장, 및 빌딩 등의 어느 하나가 될 수 있다. WSN은 짧은 거리에 걸쳐 멀티-홉(hop) 트랜스미션을 사용하여 운영하는 수천에서 수만의 무선 센서 노드를 포함할 것이다. 각 무선 노드는 일반적으로 센서, 무선 전자공학기 및 전력원을 가질 것이다. 상기 결과는, 만약에 있게 된다면, 거주 상황과 거주인에 대해 반응하는 지능 환경을 창출할 것이다.

[0005]

상술한 그외 나머지 무선 디바이스와 같은 무선 센서 노드는, 노드에 있는 전자공학기에 전력을 제공하는데 임의 종류의 자체작동 전력 공급기가 필요한 것이다. 따라서, 리튬이온 배터리, 아연-공기 배터리, 리튬 배터리, 알칼리 배터리, 니켈-금속-수소화물 배터리 및 니켈-카드뮴 배터리와 같은 종래 배터리가 사용된다. 그런데, 임의 지점에서 상기 배터리의 일반 수명을 넘어서 기능을 하게 설계된 무선 센서 노드에 맞추어, 상기 배터리는 교체되어야 한다. 이러한 일은 배터리 배치의 필요성을 말할 것도 없이, 논의의 대상이 되는 노드의 수와 노드의 접근성에 따라서 심각한 문제를 일으킬 수 있고 비용을 소요하는 것이다. 결과적으로, 많은 WSNs용으로, 미소규모 크기의 연료전지와 같이 주기적인 주의를 기울여야 하는 다른 타입의 전력 공급원과 배터리에 대한 대안을 희망하고 있다.

[0006]

상기 대안의 자체작동 전력 공급은 전형적으로 무선 센서 노드의 주위 환경에서 에너지를 수집하는 작용(또는 수확하는 작용)에 따른다. 예를 들어, 만일 무선 센서 노드가 충분히 광에 노출되는 것이라면, 상기 대안의 자체작동 전력 공급원은 광전자 또는 태양 전지를 가져야 할 것이다. 다르게는, 만일 무선 센서 노드가 기류에 충분히 노출된다면, 상기 대안의 전력 공급원은 운동 공기(moving air)로부터 전력을 수확하는 마이크로-터빈을

가질 것이다. 다른 대안의 자체작동 전력 공급원도 또한 온도 변동, 압력 변동 또는 다른 환경적 영향에 기초하게 될 것이다.

[0007] 그런데, 주위 환경이 특정 무선 센서 노드에 충분한 전력을 주기에 충분한 양의 광, 공기 운동, 온도 변동 및 압력 변동을 갖지 않았을 때가 많이 있을 것이다. 그런데, 상기 센서 노드는 예를 들어 노드를 지원하는 또는 노드가 부착된 구조에서 발산하는 균일하게 예측할 수 있는 그리고/또는 일정한 진동을 받을 것이다. 이러한 경우에, 기본적으로 진동 에너지를 전기 에너지로 변환하는 진동 에너지 수집기(또는 수확기)를 사용할 수 있다.

[0008] 특정 타입의 진동 에너지 수확기는 주변 진동(구동력)에 의해 일어나는 빔의 공진 중에 긴장되었을 때에 전기적 전하를 발생하는 압전기 재료가 합해진 공진 빔을 활용한다. 많은 종래 압전기 진동 에너지 수확기(PVEHs)의 결점은 이들이 고품질 인수(Q)를 가진 최소 감쇠 디바이스인 것이다. 따라서, 이들은 매우 작은 대역폭의 진동 주파수에서만 유효한 것이다. 이러한 사실은 무선 센서 노드가 PVEH(piezoelectric vibrational energy harvester)의 투닝(tuning)을 변경하는 온도 변화를 받게 될 때에, 주변 대기의 진동 주파수가 시간을 넘어 변화할 때에 그리고 PVEH를 만드는데 사용된 제조방법이 PVEH의 완료 투닝(as-built tuning)에서 변화를 일으킬 때에와 같이 하나 이상의 다양한 환경 아래에서는 문제성이 있는 것이다.

발명의 상세한 설명

[0009] 본 발명의 실시는 진동 에너지 수확기(vibrational energy harvester)에 있다. 상기 진동 에너지 수확기는: 횡 방향 횡단면 성질을 가진 공진기 빔, 제1굽힘 방향으로의 기본 공진 주파수 및 상기 제1굽힘 방향에 대해 직교하는 제2굽힘 방향으로의 파라메트릭 모드 주파수를 구비하고, 상기 횡단면 성질은 상기 기본 공진 주파수를 제1소망 주파수로 투닝하고 그리고 상기 파라메트릭 모드 주파수를 제2소망 주파수로 투닝하도록 선택되고, 상기 공진기 빔은 각각의 상기 제1 및 제2굽힘 방향으로 상기 공진기 빔의 굽힘 동작에 반응하여 전기적 에너지를 발생하는 압전기 재료를 갖는다.

[0010] 본 발명의 다른 실시는 진동 에너지 수확 유닛에 있다. 상기 진동 에너지 수확 유닛은: 서로 전기적으로 접속된 복수개의 압전기 진동 에너지 수확(PVEH) 모듈을 구비하고, 상기 PVEH 모듈의 각각은 기본 공진 여기(excitation)와 파라메트릭 모드 여기로부터 나오는 전기적 전하를 수확하게 각각이 형성된 PVEH 빔을 동작시키는 복수개의 파라메트릭 모드를 구비한다.

[0011] 본 발명의 또 다른 실시는 무선 센서에 있다. 상기 무선 센서는: 데이터 수집용 변환기; 무선 센서와 떨어져 있는 수신기로 상기 데이터를 전송하는 무선 전송기; 및 상기 변환기와 상기 무선 센서와 전기적으로 통신하는 파라메트릭 모드 동작가능(parametric mode enabled: PME) 압전기 진동 에너지 수확(PVEH) 전력 공급기를 포함하고, 상기 PME PVEH 전력 공급기는 사용 중에 상기 무선 전송기와 상기 변환기가 전력 동작하여 사용되는 전력을 발생하도록 사용 시에 무선 센서로 주변 환경의 진동 에너지를 보내는 구조이다.

실시 예

[0026] 도1을 참고로 본 발명의 개념에 따라 제조된 압전기 진동 에너지 수확기(PVEH) 유닛(100)의 예를 설명한다. 당분야의 기술인이 예상하는 바와 같이, PVEH 유닛은 PVEH 유닛이 장착되거나 또는 다르게 배치된 환경 분위기에서 수집된 진동 에너지로 전력을 발생하는데 사용된다. 도1의 상기 PVEH 유닛(100)이 미소규모 크기의 형태로 있지만 - 이러한 특별한 예는 대략적으로 높이를 따라서 13.5mm 길이와 각각의 기초부 옛지를 따라서 약 7.5mm의 길이의 장방형의 평행육면체 - 본 발명의 개념에 따라 제작된 다른 PVEH 유닛은 선택적으로 다른 크기의 형태로 구성할 수 있으며, 그 예를 들면 당 기술분야의 기술인이 용이하게 이해할 수 있는 제작기술을 사용하여, 중간규모 크기의 형태로 구성할 수 있다. 예를 든 PVEH 유닛(100)의 크기 때문에, 당 기술분야의 기술인은 상기 유닛을 MEMS(micro-electromechanical systems) 제작기술을 사용하여 제작할 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. MEMS 제작기술의 예는 도9A-P와 도10A-B와 관련하여 아래에 기술하였다.

[0027] 예를 들어, PVEH 유닛(100)과 같이 본 발명의 개념에 따라 제작된 PVEH 유닛이 특히, 배터적이지 않게, 용도에 적합한데, 여기서 이들이 전력에 사용되는 디바이스가 예를 들어, 물리적인 비접근성, 실행할 수 없는 전력선의 제공이나 배터리 교환, 이용할 수 없는 교류 전력원 및 비용과 같은 임의적인 1개 이상의 각종 요건에 맞게 자체-충족될 것을 요망하거나 또는 필요한 것이다. 실질적으로, 모든 적용 리스트가 본 발명을 실시하는 개념으로부터 유익할 수 있다. 그런데, 무선 센서 네트워크가 현실적으로 본원의 기술을 적용하는데 중요한 타겟이기 때문에, 본원은 무선 센서와 그러한 무선 센서를 가진 센서 네트워크에서 본원의 개념을 실시하는 예를 기술하는

것이다. 말하자면, 당 기술분야의 기술인은 무선 센서 네트워크 본원에 개재된 개괄적인 개념에 적합한 가능한 용도 만을 의미하지는 않는다는 사실을 용이하게 예측할 수 있을 것이다.

[0028] 도1과 도2A를 참고로 하여 설명하면, 고 수준에서, 이 예의 PVEH 유닛(100)은 16개 PVEH 모듈(104A-P)을 구비한다[그 중 1개의 모듈(104C)을 도2A에 상세하게 도시]. 모듈(104A-P)은 동일한 일반적인 구성으로 나누어져 있고, 상기 구성은 복수개의 PVEH 빔 그룹으로 이루어진다. 일 그룹의 모든 빔은 동일하게 튜닝되고 그리고 상기 빔의 튜닝은 그룹 사이에서는 다르게 튜닝 된다. 이러한 사실은 6개 그룹(200A-F)을 가진 모듈(104C)에 의해 도2A로 설명된다. 각각의 모듈은 8개의 동일하게 튜닝되는 PVEH 빔(204A-F)을 갖고(이 예에서는 외팔보 타입 빔) 그리고 상기 빔 튜닝은 6개 그룹 사이에서는 다르게 튜닝 된다. 이 실시예에서, 다른 튜닝은 도2A에서 볼 수 있는 바와 같이, PVEH 빔(204A-F)의 활성 길이($L_A - L_F$)를 변경하여 제공된다. PVEH 빔(204A-F)의 튜닝을 변경하는 추가/선택 방식의 예에 대해서는 이하에 기술한다. 또한, 이 실시예에서는 각각의 PME PVEH 빔(204A-F)이 상기 빔을 구성하는데 사용된 압전기 재료를 층으로(layering) 표현한 '바이모프(bimorph)' 빔이고 그리고 압전기 재료에서 전기적 에너지를 수확하기 위한 전극을 빔의 파라메트릭 모드 여기로부터 에너지를 수확하는 특정 구조로 된 방식으로 표현한 '분할-전극(split-electrode)' 이다. 각각의 바이모프와 분할-전극 개념에 관한 상세한 설명은 후술 된다.

[0029] 당 기술분야의 기술인이 예측할 수 있는 바와 같이, 도2A에 도시한 PVEH 모듈(104C)은 본원에 기재된 넓은 범위의 개념을 사용하여 구성할 수 있는 PVEH 모듈의 사실상 무한 갯수의 구조 예 중의 하나에 불과한 것이다. 단독으로 그리고 상호 간의 다양한 조합으로 변경할 수 있는 소수 아이템에 따라서 다음과 같이 다른 설계가 제공된다. 다음: 1)각 그룹의 PVEH 빔의 수가 다른 설계에 도시한 8개와 다르게; 2)PVEH 빔의 수가 그룹 사이에서 변경할 수 있게; 3)그룹의 수가 도시된 6개와 다르게; 4)동일하지 않은 그룹의 수가 도시된 6개와 다르게; 5)각 모듈이 다른 하나와 동일한 2개 이상의 그룹을 갖게; 그리고 PVEH 빔은 그 중에서도, 예를 들어 2중 고정식 엔드 타입, 2중 클램프 엔드 타입, 단순 지지형 타입 및 다른 타입과 조합을 이룬 혼합 타입과 같은 외팔보 타입 이외의 것이다. 상기 지원 조건이 본원 기재의 넓은 범위의 개념의 용도를 제한하지는 않는다.

[0030] 또한, 전체 PVEH 모듈(104A-P)이 도2에 도시한 모듈(104C)과 동일할 필요는 없다. 예를 들어, 6개의 다른 빔의 튜닝이 필요하면, 도1의 16개 PVEH 모듈(104A-P)의 전부가 동일 할 것이다. 그런데, 6개의 다른 빔의 튜닝은 다른 방식으로 제공될 수 있다. 예를 들면, 각각의 PVEH 모듈이 2개의 다른 튜닝을 제공하여, 적어도 2개의 다른 모듈이 각각 아직은 서로 다른 튜닝을 제공한다. 다른 예로서는, 전체 PVEH 모듈이 단 1개의 빔 튜닝을 가지어서, 6개의 다른 튜닝이 모두 서로 다른 튜닝을 가진 적어도 6개의 모듈에 의해 제공된다. 상술한 내용은 원하는 목적을 달성하게 만들어질 수 있는 많은 변경 중에서 일 예를 기술한 것이다.

[0031] 또한, 본원에 기재된 넓은 범위의 개념을 이용하여 제조된 PVEH 유닛은, 문제가 되고 있는 특정 설계의 매개변수에 의거한 다른 빔 튜닝의 수를 변경할 수 있음을 주의 한다. 예를 들어, 임의적인 용도에서는 오직 한 개 빔의 튜닝 만이 전체 PVEH 유닛에 소요되는 반면에, 다른 용도용으로는 3개, 6개, 10개 또는 그보다 많은 다른 튜닝이 유익한 것일 수 있다. 제공되어야 하는 빔 튜닝 수를 결정하는데 포함되는 인수(factors)에 대해서는 아래에 기술한다.

[0032] 도1의 PVEH 유닛(100)과 같이, 본원의 개념에 따라서 제조된 PVEH 유닛은, 상당히 높은 전력밀도(단위 체적 당 발전된 전력)를 제공하고 그리고 상당히 넓은 주파수 응답을 제공하는 다수의 특징 중에서 1개 이상을 갖춘 것이다. 이러한 특징은 구동 진동의 방향으로 빔의 기본-모드 여기로부터 나오는 진동 에너지를 수확할 뿐만 아니라, 상기 빔의 파라메트릭-모드 여기에서 나오는 에너지도 수확하는 특정 설계된 PVEH 빔을 갖는다. 파라메트릭-모드 여기는 구동력(진동)에 대해 직교하는 비-선형 공진 모드이다. 파라메트릭-모드 여기에서 나오는 에너지를 수확하게 특정 설계된 본원의 PVEH 빔을 설명의 편의를 도모하기 위해, 본원 명세서와 첨부 청구범위에서는 "파라메트릭 모드 가능" 또는 "PME"로 언급한다. 각각의 PME 빔의 횡단면 성질을 변경하여서, 빔의 파라메트릭-모드 여기의 주파수가, PVEH 유닛의 전력 밀도를 증가하거나 또는 상기 유닛의 유효한 여기 대역폭을 증가하거나 또는 그 모두를 증가하는 원하는 효과를 발생하게 튜닝 할 수 있다. 파라메트릭-모드 여기 주파수를 튜닝하여 각각의 빔의 유효한 여기 대역폭의 증가에 더하여, 본원의 PVEH 유닛의 전체 여기 대역폭을 PVEH 빔의 복합 그룹을 제공하여 증가할 수 있고, 상기 그룹은 약간 다른 주파수로 튜닝 된다. 이러한 사실은 개별적으로 빔(204A-F)의 6개의 다른 길이(L_A-L_F)로 나타내어 설명된 바와 같이 6개의 다른 튜닝을 가진 6개의 그룹(200A-F)으로 나타낸 도2A의 모듈(104C)의 내용으로 설명된다. 후술하는 바와 같이, 다른 튜닝은 그 중에서도 특히 다른 프루프 매스(도2B, 2C에서 '228')에 다른 그룹의 빔(204A-F)을 제공하고 그리고 길이(L_A-L_F)의 변경과 다른 프루프 매스(differing proof masses)를 제공하는 동작의 조합을 제공하는 것과 같은 다른 방식으로 제공될

수 있다.

[0033] 다양한 예의 PME PVEH 빔을 기술하기에 앞서, 도1에 도시한 PVEH 모듈(104A-P)을 적층 구조로 하고 그리고 접적된 자체-팩키지 유닛을 형성하게 엔드 모듈(108A-B)에 고정되고 다른 하나에 고정된 상태를 주시한다. 도1에 상세하게 도시하지 않았지만, PVEH 모듈(104A-P)은, 출력부(112, 116)에서 활용할 수 있는 전력이 예를 들어 모든 PVEH 모듈의 빔(204A-F)과 같은(도2A), 모든 PME PVEH 빔에 의해 발생되는 전력의 합이도록 엔드 모듈(108A-B)과 그리고 다른 하나에 전기적으로 연결되는 것이다. 당 기술분야의 기술인이 이해할 수 있는 바로서, PME 모듈은 PVEH 유닛(100)의 특정 배치에 따라서 일련하게 또는 평행하게 서로 전기적으로 연결된다. 다시, 미소 규모의 상태에 있는 이러한 예에서, 각각의 PVEH 모듈(104A-P)은 다양한 레이어 디포짓, 제거 및 에칭 기술을 사용하여 만들어진 실리콘-기본 다이이다. 그러한 모듈을 제조하는데 사용하기에 적절한 여러 처리공정 기술을, 도9A-P와 도10A-B와 관련하여 아래에 기술하였다. 이러한 예의 엔드 모듈(104A-B)도 또한 유사한 기술을 사용하여 제조하였고, 그리고 각종 PVEH 모듈(104A-P)과 엔드 모듈이 적절한 접합기술을 사용하여 상호 접합되었다. 도2B-C와 관련하여 아래에 적절한 접합기술의 예를 설명하였다. 일측 또는 양측 엔드 모듈(108A-B)이 특정 설계에 맞게 정류 및 조정 회로(도시 않음)를 갖는다는 사실에 유념한다.

[0034] 도2B-C는 PVEH 모듈(104A-B)에 대한 예를 나타낸 것이고 그리고 도1의 엔드 모듈(108A-B)은 고정되어 서로 전기적으로 연결된 것이다. 도2B는 PVEH 유닛(100)이 스택을 형성하는 중에 있을 때로서(도1), 상호 적절한 관계에서 도1의 3개의 PVEH 모듈(104A-P), 특히 PVEH 모듈(104E-G)을 나타낸 것이다. 도2B에 도시한 바와 같이, 이러한 예에서는, 각 모듈(104E-G)에 글래스 프릿(208)이 제공된다. 상기 프릿(frit)은 진공 조립공정에서 모듈을 서로 접합하는데 사용된다. 글래스 프릿(208)은 공동(212)을 기밀하게 밀봉하는 방식으로 배치된다. 상기 공동은 PVEH 모듈(104E-G)이 상호 관계로 고정된 후에 빔[여기서는 빔(204A)]을 함유한다. 솔더 볼(216)은 전기적 접속이 모듈 사이에 만들어져야 하는 각각의 장소에서 각 PVEH 모듈(104E-G)에 배치된다. 이러한 설계에서는, 저부 전극(220)이 실리콘 기층(224)에 전기적으로 연결된다. 도2C는 진공 조립공정 후에 상호 관계로 접합된 예를 들어 엔드 모듈(108A)과 PVEH 모듈(104A-E)인 상부 6개의 모듈을 나타낸 것이다. 도2C에 도시한 바와 같이, 글래스 프릿(208)과 솔더 볼(216)이 용융하기에 충분한 온도까지 모듈(104A-E)을 가열하는 작용을 하는 진공 조립공정 중에, 솔더 볼이 유통하여 인접 모듈 사이에 공간을 채우는 형태로 응고되어서, 인접 모듈 사이에 전기적 흐름을 지속시킨다. 진공 조립공정 중에, 각각의 공동(212)에는 진공이 형성되고, 그리고 그러한 진공은 용융 응고된 글래스 프릿(208)에 의해 이루어진 기밀한 밀봉에 의해 유지된다.

[0035] 설명의 편의를 위해, 도1의 PVEH 유닛(100)과 대체로 유사한 1세트의 미소규모 PVEH 유닛 예(도시 않음)용으로 다수개의 상관 매개변수의 대략적인 최소 및 최대 값을 다음의 표로 나타내었다. 상기 예를 든 세트[PVEH 모듈(104A-P)에 대응]에서의 개별 PVEH 모듈의 각각인, 유사 PVEH 유닛(100)은 $675\mu\text{m}$ 의 두께를 가진 $7.5 \times 7.5 \text{ mm}^2$ 이고, 이것은 150mm 직경 실리콘 웨이퍼의 전형적인 두께이다. 물론, 다른 웨이퍼 두께가 사용될 수 있지만, 675mm 두께 웨이퍼가 도2B-C에 설명된 2측 공동(212)을 생성하기 위한 넉넉한 두께를 제공하는 것이다. 이 예에서의 상기 엔드 모듈(도1의 엔드 모듈(108A-B)에 대응)은 PVEH 모듈을 만드는데 사용되는 것과 동일한 웨이퍼(들)로 제조되고 그리고, 따라서 동일한 두께를 갖는다. PVEH 모듈에 대응하는 각각의 다이는, 도9A-P 및 도10A-B와 관련하여 아래에서 기술되는 처리공정 기술을 사용하여 제조된 바이모프, 분할-전극 PME PVEH 빔을 갖는다. 이 예에서, 각각의 PVEH 모듈(칩)은 직렬로 함께 전기적으로 연결된 12개 PME PVEH 빔을 각각 가진 8개의 유사-튜닝 그룹을 함유하고 그리고 0.2V 및 $100\mu\text{W}$ 의 전력을 생성한다. 이 예에서, 각 PVEH 모듈에 있는 모든 PVEH 모듈은 상기 전압이 각각의 출력 노드를 가로질러서 최대이도록 직렬로 전기적으로 연결된다. 결과적으로, 정류 후에(0.5V 손실로 가정) 직렬로 전기적으로 적층된 10다이는 1.5V 와 1mW 의 전력을 달성할 것이다. 이것은 캡 칩을 가진 7.425mm 높이의 스택이다. 유사하게, 4.05mm 높이의 스택은 0.5V 와 0.5mW 의 전력을 생성하고, 10.8mm 높이의 스택은 2.5V 와 1.5mW 의 전력을 생성하고, 20.925mm 높이의 스택은 5.5V 와 3mW 의 전력을 생성할 것이다.

[0036] 물론, 다음 표의 값은 이러한 예에 특정된 것이고 그리고 본원의 넓은 개념에 따라 만들어진 다른 PVEH 유닛용의 유사한 값은 그들의 규모와 구성에 따른 다른 값을 가질 것이다. 예를 들어, 다음 표의 최소와 최대 운영 주파수가 각각 50Hz 와 1500Hz 로서 표시되었지만, 본원에 기재된 넓은 범위의 기본 개념에 따라 제조된 PVEH 유닛과 모듈이 다른 운영 주파수를 갖도록 만들어질 수 있다. 일반적으로, 본원 발명에 따라 제조된 PVEH 유닛과 모듈의 많은 용도는 50Hz 내지 250Hz 범위의 운영 주파수(대역)를 필요로 한다.

표:

매개변수	최소	최대	단위
체적	0.22	1.17	cm ³
전압	0.5	5.5	Volts
전력	0.5	3.0	mWatts
전력 밀도	2.27	2.72	mW/cm ³
가속	1g	1g	-
주파수	50	1500	Hertz
대역폭	2	10	Hertz

주: 모든 값은 개산된 값임.

[0039] 도3 내지 도5는 파라메트릭 모드 여기의 이용에 따른 개념을 설명하면서, 본원과 종래 PVEH 기술의 PME PVEH 기술 간에 주요한 차이를 나타낸 도면이다. 도3은 두께보다 훨씬 더 큰 폭을 가진 종래 장방형 횡단면의 외팔보 PVEH 빔의 주파수 스펙트럼(300)이다. 예를 들어, 상기 종래 PVEH 빔의 폭은 빔 두께의 50배 정도로 있다. 도3은 또한 외팔보 빔(304)과, 도3 내지 도5(그리고 도6 내지 도8)와 관련하여 사용된 좌표계(308)도 개략적으로 나타낸 것이다. 두께보다 상당히 더 큰 폭을 가진 종래 PVEH 빔에서는 파라메트릭 모드 여기가 기본적으로 존재하지 않는다. 결과적으로, 그리고 제1고조파 만을 고려하면, 각각이 ZX-면에서의 구동 진동으로 인하여, 주파수 스펙트럼(300)은 ZX-면에서의 제1굽힘 모드 여기로 인해서 120Hz ±2Hz에서 기본 공진 주파수 피크(300A)를 갖고 그리고 ZX-면에서의 제2모드 여기로 인해서 751.2Hz ±2Hz에서 제1고조파 주파수 피크(300B)를 갖는다.

[0040] 도4는 도3의 주파수 스펙트럼(300)과 기본 및 제1고조파 피크(300A-B)를 각각 재생성하고 그리고 도3의 비율(>50)보다 훨씬 작은 다른 폭:두께 비율에 파라메트릭 모드 여기로 인하여 YZ-면에서의 빔 굽힘으로 초래되는 6개의 추가 피크(400, 402, 404, 406, 408, 410)도 가진 것이다. 다시, 상기 파라메트릭 모드 여기는 구동 진동면, 여기에서는 ZX-면에 대해 직교하는 면, 여기에서는 YX-면에서의 굽힘을 일으킨다. 주시할 부분은, 주파수 스펙트럼(300)이 일반적으로 특별한 Z-방향 두께의 빔용으로 주파수 응답 스펙트럼이 Y-방향 폭의 변화를 갖는 변화를 하지 않기 때문에 파라메트릭-모드 피크(400, 402, 404, 406, 408, 410)를 제공하는 훨씬 더 좁은 빔에 동일하게 적용할 수 있는 것이다.

[0041] 도4에 도시한 바와 같이, 파라메트릭-모드 피크(400, 402, 404, 406, 408, 410)는 각각 비율 증가로 감소하는 상기 피크의 높이로서, 폭:두께 비율이 1.5, 2, 3, 4, 5, 7에 대응한다. 임의적인 이러한 또는 다른 유사한 값의 폭:두께 비율이 파라메트릭 모드 진동 에너지 수학용으로 이용되는 반면에, 1 대 약 1.5의 비율은 이러한 범위의 대응 응답 피크(피크 '400'으로 도시)는 기본 공진 피크(300A)로 겹쳐지기 때문에 특별히 주목 된다. 일반적으로, 폭:두께 비율은 약 5Hz의 기본 공진 주파수 내의 파라메트릭 모드 여기의 주파수를 놓는다. 결과적으로, 부수적인 파라메트릭 모드 여기를 이용하는 회로와 관련한 이러한 상태에서 실시되는 폭:두께 비율이, 도1의 PVEH 유닛(100)과 같은 PVEH 디바이스의 유용한 대역폭을 넓게 하는데 사용된다. 주목되는 부분은, 1의 폭:두께 비율에서, 파라메트릭 모드 피크(도시 않음)는 기본 공진 피크(300A)와 일치하는 것이다. 결과적으로, 기본 공진 여기와 파라메트릭 모드 여기를 모두 이용하는 적절한 회로의 사용이, 기본 공진 여기 만을 이용하는 동일한 디바이스에 대한 PME PVEH 디바이스의 출력을 기본적으로 배(double)가 시킨다.

[0042] 파라메트릭 모드 여기 주파수가 상기 빔의 기본 공진 주파수에 가깝도록 PME PVEH 빔을 튜닝하는 것이 상기 빔의 주파수 응답의 대역폭을 넓게 하는데 매우 유용한 것이지만, 당 기술분야의 기술인은 다른 파라메트릭 모드 튜닝도 유용한 것임을 용이하게 예측할 수 있을 것이다. 일반적으로, 그러나 필수적으로 제한할 필요는 없는 것으로서, 유용한 적용이라 할 수 있는 (장방형 횡단면 빔의) 튜닝은 현재 1:1 내지 8:1의 폭:두께 비율로 변하는 것이라고 할 수 있다. 예를 들어, 이러한 상황은 5Hz 미만으로 있는 (폭:두께 비율 > 1.5) 2개의 특정하게 고정한 진동 주파수를 가진 환경이다. 이러한 경우에, PME PVEH 빔의 기본 공진 주파수가 상기 주파수 중의 하나로 튜닝 되고 그리고 파라메트릭 모드 주파수는 다른 주파수로, 말하자면, 예를 들어 필요에 의해 2:1에서 8:1까지의 임의 위치에서 빔의 폭:두께 비율을 만들어서 튜닝 된다. 다른 예에서, 폭:두께 비율은 6.26:1이다. 이러한 비율은 제2굽힘 공진 모드의 전력과 출력 전압의 두배 이다(폭:두께 비율 5:1과 7:1에 각각 대응하는 제1고조파 피크(300A)와 피크(408, 410)를 참고).

[0043] 도4의 파라메트릭 모드 여기를 이용하여 확장되는 대역폭의 개념 설명으로, 도5는 도1의 PVEH 유닛과 같은 본원 기재의 PVEH 디바이스의 유효 대역폭이 약간 다른 기본 공진 주파수 튜닝을 가진 PME 빔의 제공으로 어떻게 더

넓게 되는지를 나타낸 도면이다. 도5는 다음을 구비한 PME PVEH 빔의 시스템(도시 않음)용 주파수 응답 스펙트럼(500)을 나타낸다. 다음: 1)도3의 빔으로, 예를 들어 122Hz(파크 '500A')의 ZX-면(도3을 참고)에서 동일한 기본 공진 주파수로 각각 튜닝되는 1개 이상의 빔; 2)114Hz(파크 '500B')의 ZX-면에서 기본 주파수를 갖도록 각각 튜닝되는 1개 이상의 빔; 그리고 3)130Hz(파크 '500C')의 ZX-면에서 기본 주파수를 갖게 각각 튜닝되는 1개 이상의 빔. 기본 모드 파크(500A-D)에 개별적으로 대응하는 제2굽힘 모드(제1고조파) 파크(500D-F)가 상황 배경을 위해 도시되었지만, 일반적으로는 상기 시스템 설계에서 무시되는 것이다. ZX-면에서의 이러한 다른 기본 공진 튜닝에 더하여, 다르게 튜닝되는 각각의 빔에는 약 1.5의 폭:두께 비율이 주어진다(다시, 두께는 Z-방향으로 하고 그리고 폭은 Y-방향으로 함). 상기 비율은 기본 공진 파크(500A-C)에 개별적으로 대응하는 파라메트릭 모드 여기 파크(500G-I)를 생성한다. 용이하게 볼 수 있게 도시된 바와 같이, 복합된 미세한 옵셋의 기본 공진 튜닝을 제공하고 그리고 다른 튜닝 빔의 파라메트릭 모드 여기를 이용하는 양쪽의 작용을 더하여, 현저한 양의 대역폭 확장이 이루어진다. 이러한 예에서는 122Hz 근방에 중심을 둔 전체 확장된 대역폭은 약 20Hz 이다.

[0045]

크게 비-감쇠된 PVEH 빔과 같은 고 품질 인수(Q) 디바이스에서 확장되는 대역폭은 임의적인 다양한 1개 이상의 요건에 유용한 것이다. 예를 들면, 일정 온도 범위에 걸쳐 동작하여야 하는 PVEH 디바이스용으로, 확장 대역폭은 상기 디바이스가 빔이 변하는 온도에 따라 경직되고 완화되는 범위에 걸쳐 최대 효능으로 동작하게 한다. 다른 예로서, 확장 대역폭 디바이스는 주변 진동이 변하는 곳의 환경에서 보다 유효하다. 또한, 확장 대역폭 디바이스는 제작 변화에 대한 상당한 허용 오차도 제공하고 그리고 단일 디바이스가 보다 넓은 범위의 주파수에 걸쳐 유용한 생산 경제성도 제공하여, 소수의 확장 대역폭 디바이스가 주어진 대형 범위의 주파수용으로 보다 좁은 대역폭의 많은 디바이스 장소에 사용된다. 본원에 기재된 개념을 사용하여 달성하는 대역폭 확장의 상기 이득과 그외 다른 이득에 대해서 당 분야의 기술인은 용이하게 이해 및 예측할 수 있을 것이다.

[0046]

도6과 도7은 도2의 PVEH 모듈(104C)의 각각의 빔(204A-F)용으로 사용되는 바이모프 PME PVEH 빔(600)을 설명하는 도면이다. 도6에서 용이하게 볼 수 있는 바와 같이, 바이모프 빔(600)은 일측 단부에서 고정되고 그리고 타측 단부에서 자유로운 외팔보 빔이다. 이러한 예에서, 바이모프 빔(600)은 도9A-P 및 도10A-B와 관련하여 아래에서 설명되는 단계와 유사한 구조 단계를 사용하여 실리콘 웨이퍼(604)에 형성되는 미소규모의 구성체이다. 바이모프 빔(600)의 설명이 이러한 배경 상황의 설명으로 이해하면서, 당 기술분야의 기술인은 이러한 바이모프 빔의 기본 구성이 구조 기술에 따라 변경하여 중간규모 상태와 같은 다른 크기의 상태에서 다르게 실시될 수 있는 것도 용이하게 이해할 수 있을 것이다. 당 기술분야의 기술인이 다른 규모로 바이모프 빔(600)의 구성을 수행하는데 필요한 다른 구조 기술을 이해할 수 있을 것이므로, 상기 다른 기술에 대한 설명은 당 기술분야의 기술인이 본원의 넓은 범위의 발명을 이해하도록 본원에 기재할 필요는 없을 것이다. 독자(reader)는 미소규모의 바이모프 빔(600)을 형성하기에 적합한 구조 기술을 설명한 도9A-P와 도10A-B와 첨부 내용을 참고한다.

[0047]

도7에 가장 잘 도시된 바와 같이, 빔(600)은 이것이 2개의 별개로 분할된 압전기 층(700, 704)을 갖고 있기 때문에 "바이모프" 인 것으로 판단한다. 상기 층은 XY-면에서 굽힘용 중립 축선의 반대편 측에 위치한다(여기서는 구형 좌표계의 Y-축선(708)과 일치하게 설정). 당 분야의 기술인이 예측할 수 있는 바와 같이, 압전기 층(700, 704)은, ZX-면에서 굽혀지는 동안에 각 층의 전체가 만일 단일 층이 중립 축선을 벌린다면 발생하는 압전기 재료에서의 내부 전하의 소거가 피해지게 양성적으로 또는 음성적으로 변형되도록 중립 축선(708)의 반대편 측에 위치하게 된다. 압전기 층(700, 704)의 어느 하나가 ZX-면을 굽히는 중에 중립 축선(708)을 벌리게 되면, 서로 소거하는 합성 전하를 갖고, 상기 층의 일 부분이 양성 변형부를 갖고 그리고 다른 부분은 음성 변형부를 갖는다.

[0048]

이러한 예에서는 상기 층의 각각이 XY-면 굽힘의 중립 축선(여기서는 편의상 Z-축선(712)과 합치하는 세트)의 일측에 있는 부분(700A, 704A)과 중립 축선(712)의 타측에 있는 부분(700B, 704B)으로, 2개 부분(700A-B, 704A-B)으로 분할된다. 이 방식에서 압전기 층(700, 704)을 분할하는 이유는 만일 상기 층이 연속한 횡단 중립 축선(712)에 있었을 때에 발생하는 파라메트릭 모드 굽힘에서의 전하 소거를 막기 위함이다. 도7에서 용이하게 볼 수 있는 바와 같이, 압전기 부분(700A, 704B, 704B, 700A)은 중립 축선(708, 712)에 의해 한정된 4분원(Q1-Q4)에 각각 있는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 사실과 관련하여, 주목되는 부분은, 파라메트릭 모드 굽힘이 기본 모드 굽힘 면(ZX-면)에 직교하는 YZ-면에서 일어나는 반면에, 충분한 구동 진동의 영향을 받는 바이모프 빔(600)의 자유 단부의 실질적인 동작은 사실상 원형이라는 것이다. 결과적으로, 압전기 부분(700A-B, 704A-B)의 4분원은 4분원x4분원 부분에서 전하를 수화하는 유효한 방식을 제공한다. 예를 들어, 바이모프 빔(600)의 굽힘이 ZX-면에서(예를 들면, Y-축선(708)에 대해) 완전하게 있으면, 압전기 부분(700A-B)은 일 극성에서 서로 동일하게 변형되고 그리고 압전기 부분(704A-B)은 반대 극성에서 서로 동일하게 변형된다. 바이모프 빔(600)의 굽힘이 XY-면에서(예를 들면, Z-축선(712)에 대해) 완전하게 있으면, 압전기 부분(700A, 704A)은 일 극성에서

서로 동일하게 변형되고 그리고 압전기 부분(700B, 704B)은 반대 극성에서 서로 동일하게 변형된다. 바이모프 빔(600)의 굽힘이 YX-면과 ZX-면 사이에 각도로 X-축선(716)에 대해 회전하는 면에 있으면, 압전기 부분(700A, 704B) 또는 압전기 부분(700B, 704A)은 상기 면의 장소에 따라 최대 및 최소 반대 극성 변형 또는 압전기 부분(700B, 704A)을 갖는다.

[0049] 계속하여 도7을 참고로 하여 설명하면, 바이모프 빔(600)은 3개 전극 층(720, 724, 728)을 개별 전극(720A-B, 724A-B, 728A-B)으로 분할하여 압전기 부분(700A-B, 700A-B) 중의 대응하는 각각에서 나오는 전하의 4분원x4분원 수학을 용이하게 한다. 전극 층(720, 724, 728)이 각 전극(720A-B, 724A-B, 728A-B)으로 분할한다는 사실은, 이러한 탑입의 구성을 갖는 본원의 PME PVEH 빔을 기술하는데 사용된 "분할-전극"의 표현을 상기시켜 준다. 주목되는 부분은, "분할-전극"의 표현은, 단일 층 또는 대형 전극이 부차적인 구조 단계 중에 분할하는 상태로 제한되지 않는다는 것이다. 바람직하게, "분할-전극"의 표현은 분할 형성된 전극이 중립 축선(712)의 반대편 측에 제공되는 상태에도 적용된다. 다른 말로 하면, 상기 "분할 전극"의 개념은 파라메트릭 모드 전하 수학 전극이, 이들이 어떻게 형성되는지 보다는 서로 분리된다는 사실을 적용한 것이다.

[0050] 보다 특별하게는 전극(720A-B, 724A-B, 728A-B)의 기능과 관련하여, 전극(720A, 724A)은 4분원(Q1)에서 압전기 부분(700A)으로부터 전하를 수학할 때에 활성화 되고, 전극(724A, 728A)은 4분원(Q2)에서 압전기 부분(704A)으로부터 전하를 수학할 때에 활성화 되고, 전극(724B, 728B)은 4분원(Q3)에서 압전기 부분(704A)에서 나오는 전하를 수학할 때에 활성화 되고, 그리고 전극(720B, 724B)은 4분원(Q4)에서 압전기 부분(704A)에서 나오는 전하를 수학할 때에 활성화 된다. 용이하게 이해되게 도시한 바와 같이, 전극(724A-B)은 각각 중립 축선(712)에 걸쳐 있어서, 상술한 바와 같이 전하 분리를 피하는 결과를 초래하는 중립 축선(712)에서 대응하는 각각의 압전기 부분(700A-B, 704A-B)의 분할을 제공한다. 도6을 참고로 하여 설명하면, 바이모프 빔(600)에는 압전기 부분(700A-B, 704A-B)(도7)에서 수집된 전하가 통신하기 위해 전극 층(720, 724, 728)에 각각 대응하는 접촉부(608, 612, 616)가 설치되어, 전하 수집 회로(도시 않음)를 충당한다.

[0051] 계속하여 도6을 참고로 하여 설명하면, 이 실시예에서는 바이모프 빔(600)이 빔의 자유 단부 근방에 위치한 프루프 매스(620)를 갖는다. 프루프 매스(620)는 바이모프 빔(600)의 튜닝을 낮추고 그리고 빔의 전력 출력력을 높이게 제공된다. 다른 실시예에서는 프루프 매스가 조금도 제공될 필요가 없는 반면에, 또 다른 실시예에선 1개 보다 많은 프루프 매스가 예를 들어 바이모프 빔을 따라서 다른 장소에 제공된다. 당 기술분야의 기술인이 용이하게 예측할 수 있는 바와 같이, 바이모프 빔(600)은 빔의 횡단면 형태, 빔의 횡단면 치수, 빔의 길이(예를 들어 두께), 프루프 매스의 질량, 만약 있는 경우에는 빔에 있는 프루프 매스의 장소, 및 빔을 만드는데 사용된 재료와 같은 다수의 매개변수 중의 1개 이상을 변경하여 튜닝 할 수 있다.

[0052] 상술한 바와 같이, 바이모프 빔(600)은 기층으로 실리콘 웨이퍼(604)를 사용하여 제조된다. 바이모프 빔(600)을 구조하는 중에, 전극 층(720, 724, 728)과 압전기 층(700, 704)과 같은 다양한 층이 공지된 기술에 의거 디포짓 되고 에칭 된다. 자유 단부의 외팔보로 이루어진 바이모프 빔(600)을 생성하기 위해, 상기 구조 단계 중의 하나는 실리콘 웨이퍼(604)의 일 부분을 에칭하는 공정을 포함하여 빔 밑에 공동(624)을 생성하고 그리고 웨이퍼의 인접 바이모프 빔(들) 사이에 또는 다른 측방향 인접 부분 사이에 분리부를 생성한다. 다시, 바이모프 빔(600)을 제조하는데 사용되는 구조 단계의 예를 도9A-P 및 도10A-B와 관련하여 아래에 기술한다.

[0053] 도7을 참고하고 그리고 도6도 참고로 하여 설명한다. 이 예의 바이모프 빔(600)에 구비된 다른 층들은 기초 층(732)과, 선택성 제1절연 층(736)과, 선택성 사이드 전극 층(740) 및 제2절연 층(744)을 포함한다. 기초 층(732)은 공정의 인공물(artifact)이며, 공동(624) 형성에 사용하기 위해 제공된다. 제1절연 층(736)은 선택성 사이드 전극 층(740)이 제공되는 경우에 주어진다. 사이드-전극 층(740)이 제공되는 경우에는 패터닝 되어, 파라메트릭 모드 전하 수학에 사용되는 선택성 사이드 전극(740A-D)을 제공하게 에칭 된다. 제공되는 경우에, 각각의 사이드 전극(740A-D)은 축전기의 챠지 플레이트처럼 동작하고, 여기서 제1절연 층(736)은 축전기의 유전체로서 동작하고 그리고 압전기 부분(700A-B, 704A-B) 중의 하나는 다른 챠지 플레이트로 동작한다. 선택성 사이드 전극(740A-D)은, 전극 층(720, 724, 728)과 관련하여 상술한 재료 중의 하나와 같이, 적절한 도전성 재료로 제조된다. 제2절연 층(744)은 보호 층으로 제공되고 그리고 구조 중에 다른 층에 의해 바이모프 빔(600)에서의 응력 유도를 변수하는 응력 변상 층(stress compensation layer)으로 제공된다.

[0054] 내용에 한정되지 않는 의미를 갖는 특정 설명의 예에서, 바이모프 빔(600)의 여러 층은 다음과 같은 재료로 제조되고 그리고 다음과 같은 두께를 갖는다. 다음: 기초 층(732)은 $0.5\mu\text{m}$ 의 두께를 가진 실리콘 웨이퍼(604)의 서멀 옥사이드; 전극 층(728)은 $1.0\mu\text{m}$ 의 두께를 가진 몰리브덴(Mo) 층이고; 압전기 층(704)은 $1.0\mu\text{m}$ 의 두께를 가진 질화알루미늄(AlN) 층이고; 전극 층(724)은 $0.5\mu\text{m}$ 의 두께를 가진 몰리브덴(Mo) 층이고; 압전기 층(700)은

1.0 μm 의 두께를 가진 질화알루미늄(AlN) 층이고; 전극 층(720)은 0.2 μm 의 두께를 가진 몰리브데늄(Mo) 층이고; 제1절연 층(736)은 0.1 내지 0.2 μm 의 두께를 가진 PECVD 옥사이드 층이고; 사이드-전극 층(740)은 0.2 μm 의 두께를 가진 몰리브덴(Mo) 층이고; 그리고 제2절연 층(744)은 1.8 μm 의 두께를 가진 PECVD 옥사이드 층이다. 물론, 다른 실시예에서, 상기 치수는 변경될 것이다. 이러한 사실과 관련하여, 주의할 부분은 본원에 사용된 모든 두께와 치수는 설명을 위한 것으로서, 증가 또는 감소할 수 있다는 것이다. 예를 들어, 도1의 PVEH 유닛(100)과 같이 본원의 PVEH 유닛의 체적 증가는 출력 전력과 전압을 증가시킬 것이고(전압이 압전기 층의 두께와 길이에만 따르더라도), 만일 교정이 행해진다면 공진 주파수가 변경되지 않고 남아 있거나 또는 필요에 의해 변경될 것이다. PVEH 유닛의 체적을 증가하는 일의 결점은 소수의 모듈/칩이 단일 웨이퍼에서 구조되어서, 다이 당 비용을 증가시키는 것이다.

[0055] 다른 주의할 부분은, 중립 축선(712)의 장소를 각종 층의 두께를 변경하여 (도7과 상관하여) 위와 아래로 조정 할 수 있는 것이다. 또한, 다른 주의할 부분은 압전기 부분(700A-B, 704A-B)의 각도진 측벽과 부차적으로 디포짓된 층이 단지, 분할-전극 구성체를 형성하는데 사용된 예칭 기술의 인공물이라는 것이다. 다른 실시예에서는 상기 각도진 측벽은 적절한 구조기술을 선택하여, 사용된 특정 구조공정의 인공물로 있는 2개 스택(748, 752)과 오버행(756, 760) 사이에 상당히 넓은 이격 공간을 이를 수 있게 없앨 수 있다.

[0056] 도6과 도7이 바이모프 분할-전극 PME PVEH 빔(600)의 예를 나타낸 것임에 비해서, 도8은 그러한 빔의 모노모프 버전(800)을 나타낸 것이다. 도8에 도시된 바와 같이, 모노모프 빔(800)이 도6과 도7의 바이모프 빔(600)과 같이 동일한 미소규모로 제조되고 그리고 동일한 구조공정을 사용하여 제조된다면, 모노모프 빔(800)은 바이모프 빔(600)과 매우 유사하게 구성될 것이다. 그런데, 2개 압전기 층(700, 704)(도7)와 3개 전극 층(720, 724, 728)을 갖는 대신에, 도8의 모노모프 빔(800)은 단일 압전기 층(804)과 그 사이에서 압전기 층을 샌드위치 하는 1쌍의 전극 층(808, 812) 만을 갖는다. 상기 층(804, 808, 812)의 각각은 수평하게 "분할"되어(도8과 관련하여), 2개 모노모프 전하 발생기(816, 820)를 제공하고, 상기 2개 모노모프 전하 발생기는 빔(800)의 파라메트릭 모드 여기에서 전하를 수확하는 일과 관련하여 상술한 이유로 서로 전기적으로 분리된다. 이러한 예에서는 도6과 도7의 바이모프 빔(600)에서 일어난 것과 같이, 기본 공진 여기는 ZX-면에서 일어나고, 그리고 파라메트릭 모드 여기는 YZ-면에서 일어난다. 분할 층(804, 808, 812)을 가진 상태에서, 스택(816)은 압전기 부분(804A)과 대응 전극(808A, 812A)을 갖고, 그리고 스택(820)은 압전기 부분(804B)과 대응 전극(808B, 812B)을 갖는다.

[0057] ZX-면에서 굽힘 중에 압전기 층(804) 내의 전하 소거가 피해지게, 모노모프 빔(800)의 각종 층의 두께는, 전체 압전기 층이 중립 굽힘 축선의 일측 또는 타측 상에 놓여지게 선택되며, 여기서는 상기 축선은 편의상 원형 Y-축선(824)을 설정한다. 이러한 방법에서는 ZX-면의 굽힘 중에, 전체 압전기 층(804)은 양성적으로 또는 음성적으로 변형된다. 도6과 도7의 바이모프 빔(600)과 유사하게, 압전기 층(804) 내의 전하 소거는, 스택(816, 820)이 중립 축선의 반대편 측에, 여기서는 원형 Z-축선(826)에 놓여지게 층(804)을 분할하여 피해지게 된다.

[0058] 전극(808A-B)은, 전극(812A-B)으로서 모노모프 빔(800)의 고정 단부(모노모프 빔(800)의 외팔보 구조를 계획하게 사용할 수 있는 도6을 참고) 너머 다른 전극에 전기적으로 결합 된다. 이때, 모노모프 빔(800)에는 바이모프 빔(600)의 전기적 접촉부(608, 612, 616)(도6)와 유사한 방식으로 전기적 접점(도시 않음)이 제공된다.

[0059] 바이모프 빔(600)과 같이, 모노모프 빔(800)은 압전기와 전극 층(804, 808, 812)에 더해진 여러 층을 갖는다. 이러한 예에서는, 상기 추가 층이 기초 층(828)과, 선택성 제1절연 층(832)과, 선택성 사이드-전극 층(836) 및 제2절연 층(840)을 갖는다. 기초 층(828)은 모노모프 빔(800)을 형성하는데 사용된 공정의 인공물이고 그리고 스택(816, 820)용 단일 기초부를 제공한다. 제1절연 층(832)은 만일 선택성 사이드-전극 층(836)이 제공되는 경우에 제공된다. 사이드-전극 층(836)이 제공된다면 패터닝 되고 그리고 파라메트릭 모드 전하 수확에 사용되는 선택성 사이드 전극(836A-D)을 제공하게 예칭 된다. 제공되는 경우에, 각각의 사이드 전극(836A-D)은 축전기의 차지 플레이트처럼 동작한다. 제1절연 층(832)은 축전기의 유전체로서 동작하고 그리고 압전기 부분(804A-B)의 하나는 다른 차지 플레이트로서 동작한다. 선택성 사이드 전극(836A-D)은 예를 들어 도6과 도7의 바이모프 빔(600)의 전극 층(720, 724, 728)과 관련하여 상술한 재료 중의 하나와 같은 적절한 전도성 재료로 제조된다. 제2절연 층(840)은 구조공정을 하는 중에 다른 층에 의해 바이모프 빔(600)에서 유발되는 응력을 변상하는 응력 변상 층으로 그리고 보호 층으로 제공된다. 이 예에서, 제1 및 제2절연 층(832, 840)은 PECVD(plasma-enhanced chemical vapor deposition)에 의해 형성된 옥사이드이다.

[0060] 내용을 한정하는 의미가 아닌 특정 설명을 하기 위한 예에서, 모노모프 빔(800)의 여러 층은 다음과 같은 재료와 두께로 제조된다. 다음: 기초 층(828)은 2.0 μm 의 두께를 가진 오리지널 실리콘 웨이퍼(604)의 서멀 옥사이

드이고(도6과 도7 및 첨부 텍스트를 참고); 전극 층(812)은 $1.0\mu m$ 의 두께를 가진 몰리브덴(Mo) 층이고; 압전기 층(804)은 $1.0\mu m$ 의 두께를 가진 질화알루미늄(AlN) 층이고; 전극 층(808)은 $0.2\mu m$ 의 두께를 가진 몰리브덴(Mo) 층이고; 제1절연 층(832)은 $0.2\mu m$ 의 두께를 가진 PECVD 옥사이드 층이고; 사이드-전극 층(836)은 $0.1\mu m$ 의 두께를 가진 몰리브덴(Mo) 층이고; 그리고 제2절연 층(840)은 $1.3\mu m$ 의 두께를 가진 PECVD 옥사이드 층이다. 물론, 다른 실시예에서는 상기 치수가 변경될 것이다. 주시할 부분은, 압전기 부분(804A-B)의 각도진 측벽과 부차적으로 디포짓된 층이 단지, 분할-전극 구성을 형성하는데 사용되는 예칭 기술의 인공물이라는 것이다. 다른 실시예에서는 상기 각도진 측벽이 적절한 구조 기술을 선택하여 없앨 수 있으며, 상기 적절한 구조 기술은 사용되는 특정 구조의 공정의 인공물인 오버행(844, 848)과 2개 스택(816, 820) 사이에 상당히 넓은 이격 공간을 이를 수 있는 것이다.

[0061] 도시하지 않았지만, 모노모프 빔(800)은, 필요한 경우에, 도6과 도7의 바이모프 빔(600)과 유사한 방식으로 1개 이상의 프루프 매스를 구비할 수 있다. 또한, 모노모프 빔(800)은 바이모프 빔(600)과 관련하여 상술한 1개 이상의 기술을 사용하여 기본 공진 응답을 위해 튜닝 된다. 부가로, 모노모프 빔(800)의 파라메트릭 모드 응답은 도4와 관련하여 상술한 바와 같이 상기 빔(대략 장방형의 횡단면 형태로 가정)의 두께(T')에 대한 빔의 폭(W')의 비율을 변경하여 튜닝할 수 있다. 상술한 모노모프 외팔보 빔(800)의 예를 든 미소규모 구성을에서, 빔의 상방향 커링(curling)은 압전기 층(804)에 의해 빔의 상부부분에서 유발되는 변형의 결과로 일어난다. 이러한 커링은 적절한 기술을 사용하여 오차 범위 제한치 내에 있게 제어할 수 있다. 주시되는 부분은, 도6과 도7의 바이모프 빔(600)이 ZX-굽힘 중립 축선(708)의 반대편 측 상에 압전기 층(700, 704)이 있음으로서 컬(curl) 발생이 거의 없다는 것이다.

[0062] 도9A-P는 예를 들어 도8의 빔(800)과 같은 미소규모 외팔보 모노모프 PME PVEH 빔과, 예를 들어 도1 및 도2의 모듈(104A-P) 중의 임의의 한 개와 같은 전체 미소규모 PVEH 모듈을 구조하는데 사용되는 공정 단계를 나타낸 도면이다. 단계(900)(도9A)에서는 실리콘 기층(902)이 제공된다. 실리콘 기층(902)은 임의적인 결정(crystal) 방향과 도편트 타입 및 도핑 집중부를 갖는다. 단계(904)(도9B)에서, 기초 층(906)은 기층(902)에 제공된다. 기초 층(906)은 각각 도8의 기초 층(828)에 대응하고, 그리고 상술한 바와 같이 빔(800)의 외팔보(도8)를 생성하기 위한 예칭 정지부로서 사용된다. 기초 층(906)은 예를 들어: 1)성장된 서열 실리콘 디옥사이드(SiO_2); 2)저압 CVD(LPCVD; low-pressure chemical vapor deposition) 또는 플라즈마-향상 CVD(PECVD) 실리콘 옥사이드(SiO_x , $X </=2$); 또는 저-응력 실리콘-리치 니트라이드(Si_xN_y , $X<3$, $Y<4$) 가 있다. 기초 층(906)은 박막 응력이 균형되게 실리콘 기층(902)의 양측에 제공된다.

[0063] 단계(908)(도9C)에서, 금속 층(910)은 기층(902)의 일측 상에 스퍼터링 또는 증발을 통해 디포짓 된다. 금속 층(910)은 도8의 모노모프 빔(800)의 전극 층(812)에 대응한다. 단계(912)에서, 압전기 층(914)는 기층(902)의 일측 상에 디포짓 된다. 상기 층(914)에 사용된 압전기 재료에는 예를 들어, AlN(스퍼터링에 의해 디포짓), 티탄산지르콘산연(PZT)(Sol 젤 공정 또는 스퍼터링에 의해 디포짓), 폴리비닐이덴 플로라이드(PVDF)(Sol 젤 공정을 통해 디포짓) 그리고 산화아연(ZnO)(스퍼터링을 통해 디포짓)이 있다. 단계(916)(도9E)에서, 도8의 모노모프 빔(800)의 전극 층(808)에 대응하는 제2금속 층(918)은 스퍼터링 또는 증발을 통해 디포짓 된다.

[0064] 단계(920)(도9F)에서, 제2금속 층(918)이 예를 들어 포토리토그래피 패턴 기술을 사용하여 패터닝 되고, 그 후 습식 예칭 또는 건식 반응 이온 예칭(RIE)을 사용하여 예칭된다. 단계(922)(도9G)에서, 압전기 층(914)은 습식 예칭 또는 건식 RIE를 사용하여 예칭된다. 만일 질화알루미늄(AlN)을 압전기 층(914)용으로 사용하고 그리고 몰리브덴(Mo)을 금속 층(910, 918)용으로 사용하면, 습식 칼륨수화물(KOH) 공정이 사용된다. 이러한 경우에, 단계(920)의 패터닝 공정으로부터의 포토레지스트(도시 않음)는 KOH 예칭에 앞서 스트립 되고 그리고 금속 층(910, 918)의 Mo가 하드 마스크로서 사용된다. AlN은 KOH에 비등방향성으로 예칭되어, 상기 도7과 도8의 각각과 관련하여 주목된 각도진 벽을 형성한다. 단계(924)(도9H)에서, 금속 층(910)은 습식 예칭 또는 건식 RIE를 사용하여 예칭 된다. 예를 들어 상기 기재된 Mo에서는 Mo는 RIE를 사용한다.

[0065] 단계(926)(도9I)에서, 도8의 모노모프 빔(800)의 제1절연 층(836)에 대응하는 제1상부 유전체(928)가 디포짓 된다. 유전체(928)는 예를 들어 디포짓된 LPCVD 또는 PECVD 실리콘 옥사이드(SiO_x) 또는 실리콘 니트라이드(Si_xN_y)로 이루어질 수 있다. 전형적으로, 금속은 다른 제품의 필름과의 금속의 교차-오염으로 인해 LPCVD 노에 놓여지지 않는다. 그런데, 만일 특정목적의 LPCVD 시스템이 사용되고 그리고 금속 용융점(텅스텐과 Mo의 용융점은 높고 그리고 금의 용융점은 낮음)이 높은 경우에는 행해질 수 있다. 이러한 예에서, 제1상부 유전체(928)는 기층(902)의 양측에 디포짓 되어 박막 응력을 균형되게 한다. 단계(930)(도9J)에서, 제1상부 유전체(928)는 습식 예칭 또는 RIE를 사용하여 예칭된다.

- [0066] 만일, 도8의 모노모프 빔(800)의 사이드 전극(840A-D)에 대응하는 사이드 전극이 제공되었으면, 선택성 단계(932)(도9K)가 실시된다. 단계(932)에서, 금속 층(934)이 예를 들어 스퍼터링 또는 증발을 통해 디포짓 되고, 다음, 패터닝 되어 에칭되어서 사이드 전극(938)을 형성한다. 만일 사이드 전극(938)이 제공되지 않았으면, 단계(932)와 도9I-J의 단계(926, 930) 또는 도9L-M의 단계(940, 942)가 없어진다. 사이드 전극(938)의 형성에 따라서, 만약에 있다면, 단계[940(도9L), 942(도9M)]가 실시된다. 단계(940)에서, 도8의 모노모프 빔(800)의 제2절연 층(840)에 대응하는 제2상부 유전체(944)가 디포짓 된다. 유전체(944)는 예를 들어 제1상부 유전체(928)와 관련하여 상술한 재료 중의 하나로 이루어진다. 이 예에서, 상부 유전체(944)는 박막 응력이 균형되게 기층(902)의 양측 상에 디포짓 된다. 단계(942)(도9M)에서, 제2상부 유전체(944)는 습식 에칭 또는 RIE를 사용하여 에칭된다.
- [0067] 단계(946)(도9N)에서는 전기접점(948, 950) 및 상호연결 배선(wiring)(도시 않음)이 제공된다. 전형적으로, 필수적이지 않더라도, 전기접점(948, 950)은 전기이주(electrical-migration)를 억제하기 위해, 약 2% 실리콘을 갖는 알루미늄이 될 것이다. 예를 들어, 포토 금속 디포짓(증착) 리프트-오프 공정(lift-off process) 또는 디포짓(증발과 스퍼터링) 및 습식 에칭 또는 RIE에 의해 접점(948, 950) 및 배선이 제공된다. 단계(952)(도9O)에서는 적절한 방법을 사용하여 프루프 매스(proof mass)가 형성된다. 일반적으로, 약 $10\mu\text{m}$ 내지 약 $100\mu\text{m}$ 범위의 두꺼운 금속 디포짓을 달성하는 데에는 전기도금이 가장 최적한 방법이다. 증착은 약 $3\mu\text{m}$ 이하의 두께로 한정된다.
- [0068] 단계(956)(도9P)에서, 외팔보 빔(958)으로의 전구체(precursor)는 외팔보를 형성하기 위해 기층(substrate)(902)에서 방출된다. 이러한 실시예에서, 외팔보 빔(958)은 제2유전체와 제1유전체(944, 928) 및 후방측 기초 층(906)을 통한 패터닝 및 에칭 단계와 전방측 기초 층의 하부측으로 기층(902)을 통한 딥 RIE(DRIE)의 실행단계를 포함하는 후방측 방출방법을 사용하여 형성된다.
- [0069] 도10A 및 도10B는 외팔보 빔에 전구체 구조(structure)을 해제하는 두개의 다른 방법을 도시하고 있으며, 이러한 두개의 방법은 도9P에 대해 서술한 바와 같이 후방측이 아니라 조립체의 전방측으로부터의 에칭을 포함한다. 도10A에서는 외팔보 빔(1008)의 하부에 공동(1004)을 형성하기 위해 조립체(1000)의 전방측으로부터 실리콘 등방 에칭이 실행된다. 예를 들어, 실리콘을 등방성으로 에칭하지만 기타 다른 물질은 공격하지 않는, 가스형 제논 플루오르화물(X_2F_2) 또는 황화물 헥사 플루오르화물(SF_6) 등과 같은 플루오르계 식각종(etchant)이 사용될 수 있다. 이러한 형태의 방법에 있어서, 공동(1004)은 외팔보 빔(1008)의 자유 단부의 상하 운동을 제한하지만, 상기 공동은 빔의 오버-플렉싱(over-flexing)[과변형(over-straining)]을 방지하는데 유용한 웨이퍼 스케일 패키징 및 바닥 정지를 위한 절연(isolation)을 제공한다. 이 경우, 외팔보 빔(1008)의 자유 단부의 운동범위를 "튜닝"하기 위해 비대칭으로 인한 일부 상향 커먼(curl)이 바람직하다.
- [0070] 도10B는 전구체를 외팔보 빔(1012)에 해제하는 또 다른 전방측 방법을 도시하고 있다. 이러한 방법에서는 종래의 non-SOI(non-silicon-on-insulator) 기층(902)(도9A) 대신에, 매립 옥사이드(BOX: buried oxide) 층(1020)을 갖는 SOI 기층(1016)이 사용될 수 있다. 이러한 방법에 있어서, BOX 층(1020)은 기층(1016)의 SOI의 전방측으로부터의 등방성 에칭중 형성된 공동(1024)의 깊이를 정밀하게 제어하는 에칭 정지부(etch stop)로서 작용한다. 도10A의 방법에 있어서, 실리콘을 등방성으로 에칭하지만 기타 다른 물질을 공격하지 않는, 가스형 X_2F_2 또는 SF_6 등과 같은 플루오르계 식각종이 사용된다. 여기에서도, 외팔보 빔(1008)의 자유 단부의 운동범위를 "튜닝"하기 위해 비대칭으로 인한 일부 상향 커먼(curl)이 바람직하다.
- [0071] 도9A-도9P 및 도10A-도10B의 제조기법은 모노모프 빔(958, 1008, 1012)의 제조에 관한 것으로서, 이러한 기법은 도6 및 도7의 바이모프 빔(600)과 유사한 바이모프 빔의 생산을 위해 용이하게 신장될 수 있다. 예를 들어, 제2금속 층(918)을 패터닝 및 에칭하는 것이 아니라, 단계(916)에서 제2금속층의 디포짓 직후(도9E), 제2압전기 층[도시하지 않았지만 도7의 압전기 층(700)에 대응] 및 제3금속 층[도시하지 않았지만 도7의 전극 층(712)에 대응] 대신에, 도9F 내지 도9H의 단계(920, 922, 924)에서의 제1압전기 층(914) 및 제1금속 층(910)은 도9I의 단계(926)에서처럼 제1상부 유전체(928)의 디포짓으로 이어지기 전에 제2금속 층에 디포짓될 수 있다. 그 후, 제3금속 층에 에칭이 시작되어 하방으로 진행되어, 제1금속 층(910)을 포함한다. 이러한 처리 과정중에는 응력의 평형을 맞추고 커먼을 필요에 따라 조정하기 위해 상부 유전체(944, 928) 및 기초 층(906)의 두께를 변경하는 것이 바람직하다.
- [0072] 상술한 바와 같이, 설명한 바의 개념에 따라 제조된 PVEH 유닛은 무선 센서의 적용을 포함하는, 임의적인 다양한 용도에 사용될 수 있다. 도11은 도1의 PVEH 유닛(100)의 구성과 유사한 PVEH 유닛(1108)을 포함하는 자체작

동 전력 공급부(1104)가 구비된 일 예의 무선 센서(1100)를 도시하고 있다. 즉, PVEH 유닛(1108)은 PME 빔(도시 않음)의 다수의 그룹(도시 않음)을 포함한다. 도시되지는 않았지만, 상기 그룹은 도2A의 그룹(200A-200E)과 유사하며(필수 사항은 아님), 각각의 PME 빔은 예를 들어 도6 및 도7에 도시된 바이모프 빔(600) 또는 도8에 도시된 모노모프 빔(800)과 유사하다. 이러한 실시예에서, PVEH 유닛(1108)은 타겟 주파수 근방에서 PVEH 유닛의 유효한 대역폭을 확장하기 위하여, 도4 및 도5에 대해 서술한 방식으로 튜닝된 3개의 다른 튜닝을 갖는 PME 빔을 포함한다. 도11에 있어서, 유사 튜닝 빔은 제1세트(1112), 제2세트(1116), 제3세트(1120)으로 확인되었으며; 상기 세트들은 각각의 대응하는 다른 기본 공진 주파수(V_{B1} , V_{B2} , V_{B3}) 및 각각의 대응하는 다른 파라메트릭 모드 주파수(V_{P1} , V_{P2} , V_{P3})를 갖는다.

[0073] 전력 공급부(1104)의 성능을 최적화하기 위하여, 유사하게 튜닝된 빔의 세트(1112, 1116, 1120)는 활성 세트(들)로부터의 전기적 전력 배출로부터 불활성 세트(들)을 억제하는(예를 들어, 주위 구동 진동에 의해 충분히 여기되지 않았기 때문에), 예를 들어 풀브릿지(full-bridge) 정류기(1124, 1128, 1132)(여기서, 실시예로서는 다이오드 정류기)에 대응하는 적절한 절연 회로를 사용하여 서로 전기적으로 절연된다. 이러한 방식으로, 최대량의 전력이 PVEH 유닛(1108)으로부터 출력된다. 본 기술분야의 숙련자라면 기타 다른 절연 회로가 사용될 수도 있음을 인식할 수 있을 것이다. 전력 공급부(1104)는 기타 다른 전자장치 탑재 무선 센서에 의한 사용을 위해, PVEH 유닛(1108)에 의해 수집된 전기 에너지를 저장하는 하나 이상의 전기 저장장치(1136)를 포함한다. 각각의 전기 저장장치(1136)는 슈퍼 축전기(또한, "울트라-축전기") 등과 같은 적절한 재충전 장치 또는 예를 들어 재충전 배터리 및 리튬-이온 배터리이다. 이 실시예에서, 전력 공급부(1104)는 구동 주변 진동으로부터의 진동을 한쪽 방향으로 수집하기 위해 단일 PVEH 유닛(1108)을 포함한다. 진동을 다른 방향으로 수집하기 위해 PVEH 유닛(도시 않음) 등과 같은 하나 이상의 부가물이 하나 이상의 다른 방향으로 제공될 수 있음을 인식할 수 있을 것이다.

[0074] 이 실시예에서, 무선 센서(1100)는, 무선 센서를 적용하는데 필요한 것으로서, 압력 변환기, 가속도계, 온도 탐침 등과 같은, 하나 이상의 변환기(1140)를 포함한다. 무선 센서(1100)는 무선 센서의 동작을 제어하기 위한 마이크로 제어기(microcontroller)(1144)와; 무선 센서로 하여금 무선 센서, 리피터(repeater), 정보 수집 노드 장치 또는 기지국 장치 등과 같은 하나 이상의 장치와 통신할 수 있게 하는 라디오 송신기 또는 송수신기(1148)를 부가로 포함한다. 마이크로 제어기(1144)와 함께 또는 이러한 마이크로 제어기 대신에, 무선 센서(1100)는 필요할 경우 무선 센서에 고 수준 데이터 처리 기능성을 제공하는 하나 이상의 마이크로 제어기를 포함할 수 있다. 이 실시예에서, 전력 공급부(1104)는 각각의 변환기(1140), 마이크로 제어기(1144)(또는 마이크로 프로세서), 및 송수신기(1148)에 전력을 제공한다. 본 기술분야의 숙련자라면 각각의 변환기(1140), 마이크로 제어기(1144)(또는 마이크로 프로세서), 및 송수신기(1148)는 종래의 설계를 가질 수도 있음을 이해할 수 있을 것이며, 여기서는 이러한 사실에 대한 부가 설명은 필요하지 않을 것이다.

[0075] 도12는 다수의 센서 노드(1204A-1204G)와, 중앙 스테이션(central station)(1208)을 포함하는 무선 센서 네트워크(1200)을 도시하고 있다. 이 실시예에서 각각의 센서 노드(1204A-1204G)는 독립형 PME PVEH 전력 공급부(도시 않음)를 포함하며, 도11의 무선 센서(1100)와 유사한 것이다. 이 실시예에서, 센서 노드(1204A-1204F)는 터미널 노드로 간주되며, 센서 노드(1204G)는 중간 노드로 간주된다. 이러한 내용에 있어서, 터미널 노드는 일반적으로 그 자신의 감지된 데이터만 수집하고, 이를 다른 노드[중간 센서(1204G)]에 전송한다. 네트워크가 푸시형 인지 또는 풀형(pull type)인지의 여부(그리고/또는 기타 다른 목적용인지의 여부)에 따라, 터미널 노드는 중앙 스테이션(1208) 또는 중간 센서(1204G) 등과 같은 다른 노드로부터 풀 리퀘스트(pull request) 등과 같은 정보를 수신한다. 한편, 중간 센서(1204G)는 센서 노드(1204D-1204F)로부터 데이터를 지속적으로 수신하며 상기 데이터를 중앙 스테이션(1208)으로 전송한다. 본 기술분야의 숙련자라면 본 발명의 PME PVEH 를 갖는 센서 노드의 내용에서 적절한 작동을 위해 센서 노드(1204A-1204G)를 어떻게 형성하는지를 이해하고 있을 것이다.

[0076] 본 발명은 양호한 실시예를 참조로 서술되었기에 이에 한정되지 않으며, 본 기술분야의 숙련자라면 첨부된 청구 범위로부터의 일탈없이 본 발명에 다양한 변형과 수정이 가능할 수 있음을 인식해야 한다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도1은 본 발명의 개념에 따라 제조된 압전기 진동 에너지 수확(PVEH) 유닛의 예를 나타낸 등각 투영도이다.

[0013] 도2A는 파라메트릭 모드 동작가능(PME) PVEH 빔의 복수 그룹을 나타낸 도1의 시스템의 PVEH 모듈의 하나를 확대하여 도시한 평면도이다.

[0014] 도2B는 서로 부착되기 직전에 구조를 나타낸 도1의 3개의 PVEH 모듈을 확대하여 도시한 부분 횡단면의 분해도

이다.

[0015] 도2C는 최종 스택으로 서로 부착된 도1의 상부 6개의 PVEH 모듈을 확대하여 나타낸 부분 횡단면도이다.

[0016] 도3은 종래 실시에 이용된 외팔보 타입 PVEH 빔의 전형적인 주파수 스펙트럼(전압 대 주파수)의 그래프이다.

[0017] 도4는 본 발명의 개념을 이용한 한 세트의 외팔보 타입 PME PVEH 빔의 주파수 스펙트럼(전압 대 주파수)의 그래프로, 상기 그래프는 다른 빔의 주파수 스펙트럼에서 다른 폭 : 두께 비율의 효과를 나타낸다.

[0018] 도5는 그룹이 약간 다른 주파수로 튜닝되는 PME 빔의 3개 그룹을 가진 PVEH 모듈의 주파수 스펙트럼(전압 대 주파수)의 그래프이다.

[0019] 도6은 본 발명의 개념에 따라 제조된 바이모프(bimorph) PME PVEH 빔의 확대 종방향 횡단면도이다.

[0020] 도7은 도6의 7-7선을 따라 절취된 횡단면도이다.

[0021] 도8은 본 발명의 개념에 따라 제조된 모노모프(monomorph) PME PVEH 빔의 횡방향 횡단면도이다.

[0022] 도9A-P는 1형태 PME PVEH 빔을 만드는데 사용되는 제작 공정의 단계를 일련의 다이어그램으로 나타낸 것으로, 도9A-P의 각각은 최종 빔에 대한 종단면과 횡단면을 함유한다.

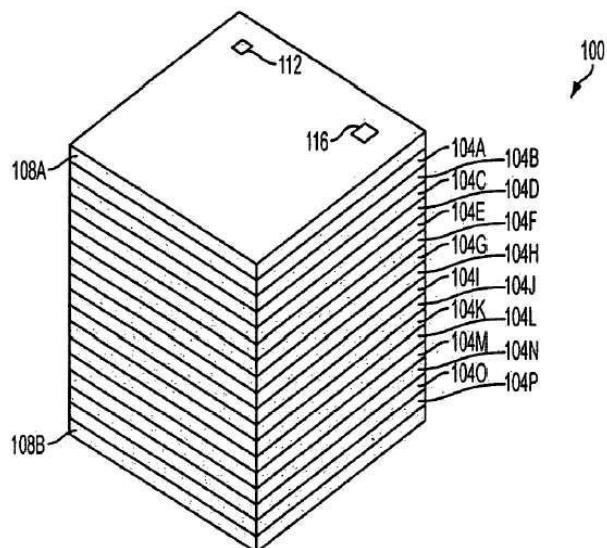
[0023] 도10A-B는 1형태 PME PVEH 빔을 만드는데 사용되는 다른 단계를 나타낸 일련의 다이어그램으로, 도10A-B의 각각은 최종 빔에 대한 횡단면과 종단면을 함유한다.

[0024] 도11은 본 발명의 개념에 따라 제작된 무선 센서를 개략적으로 나타낸 다이어그램이다.

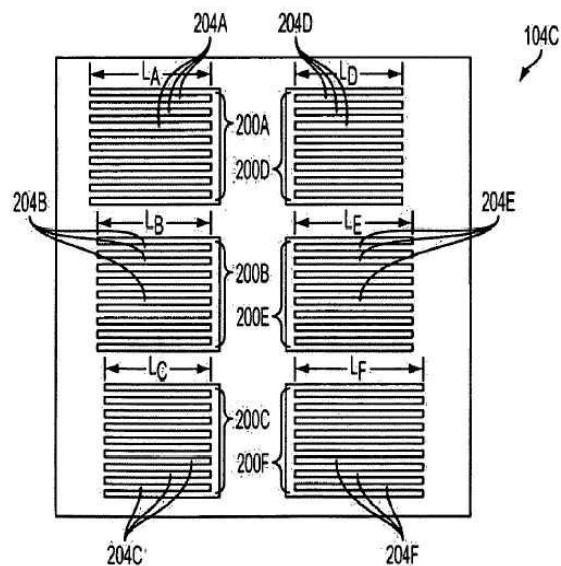
[0025] 도12는 네트워크 내에서의 통신과 각각의 온보드 센서에 전력동작용으로 PME-기초 전력원을 각각 활용하는 무선 센서의 네트워크의 블록 다이어그램이다.

도면

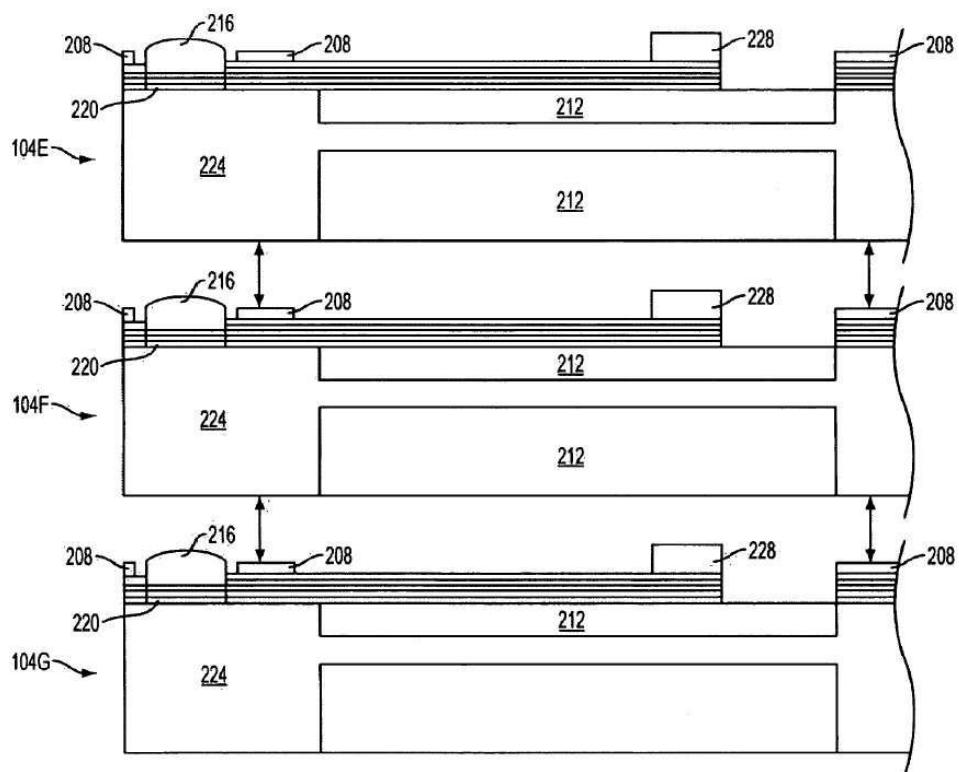
도면1



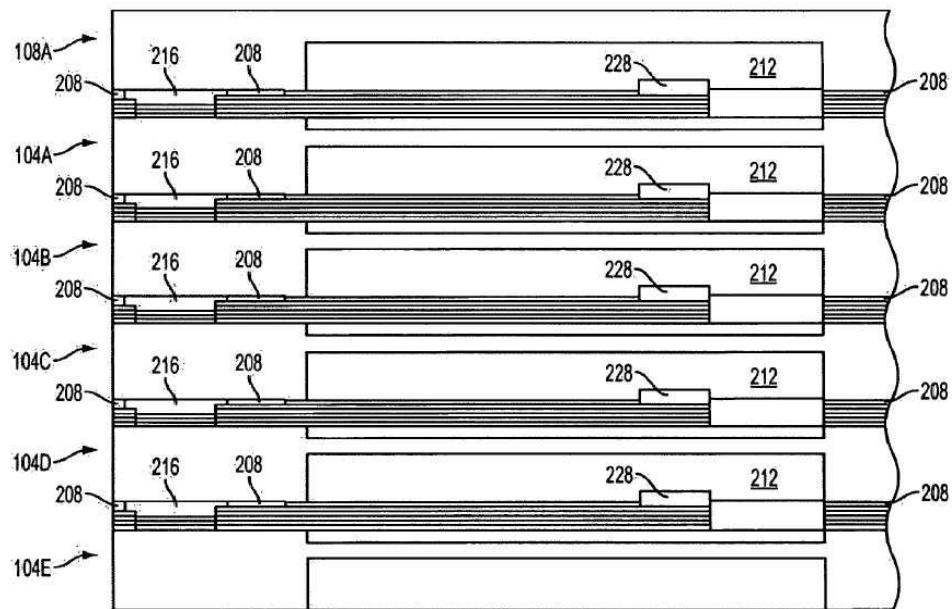
도면2A



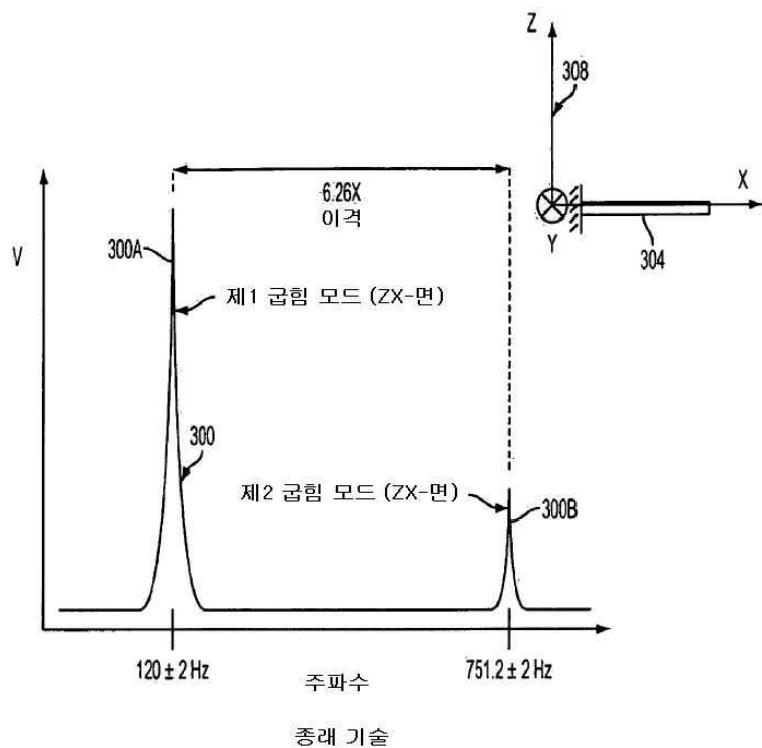
도면2B



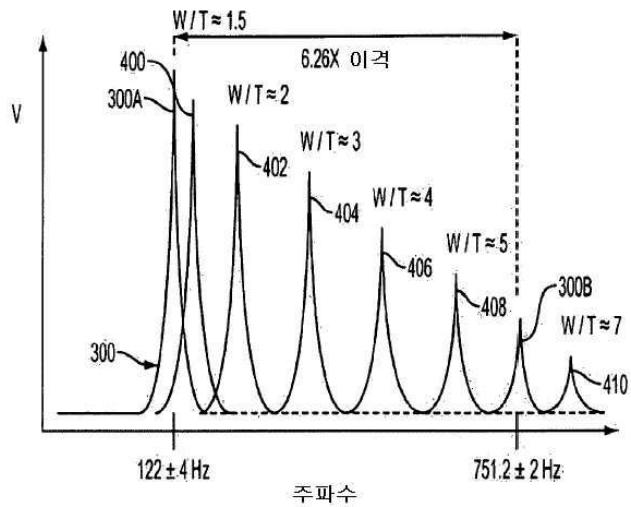
도면2C



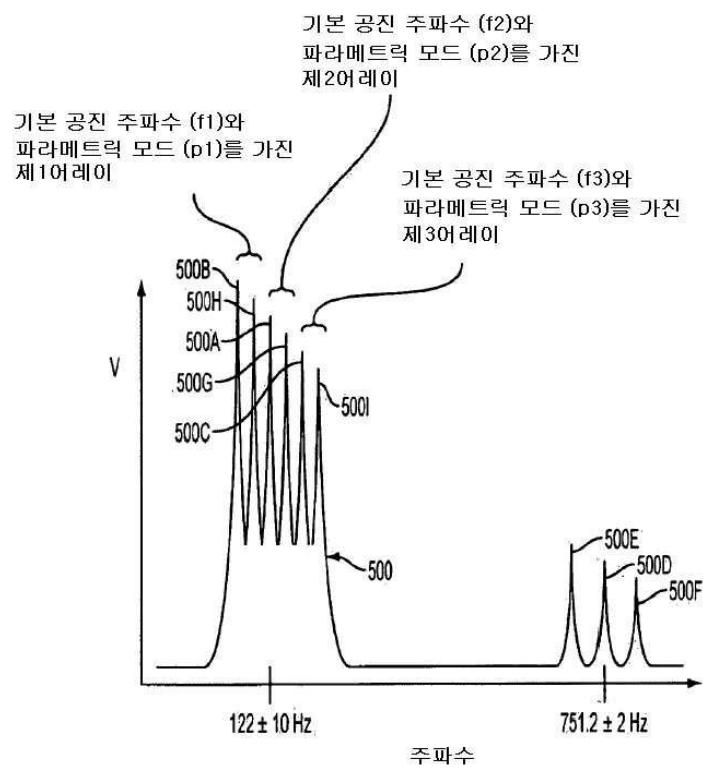
도면3



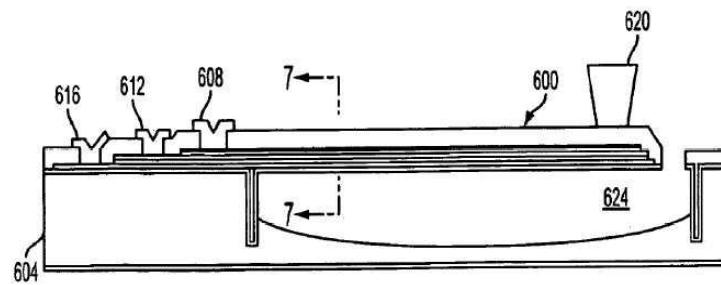
도면4



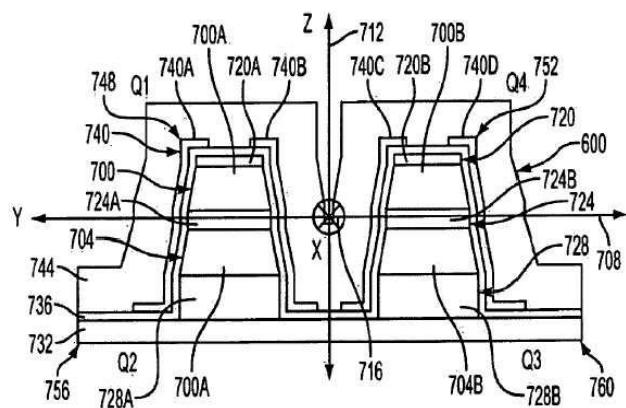
도면5



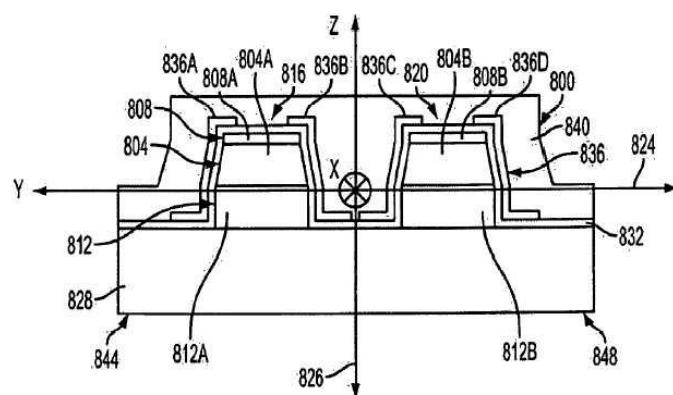
도면6



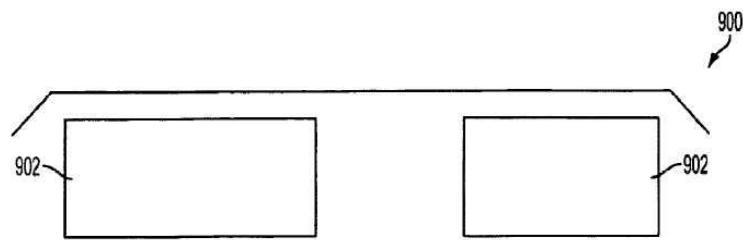
도면7



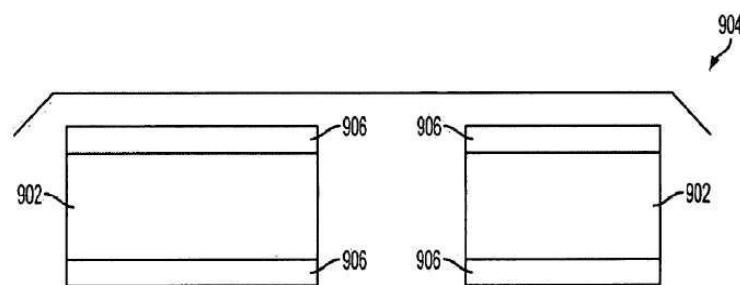
도면8



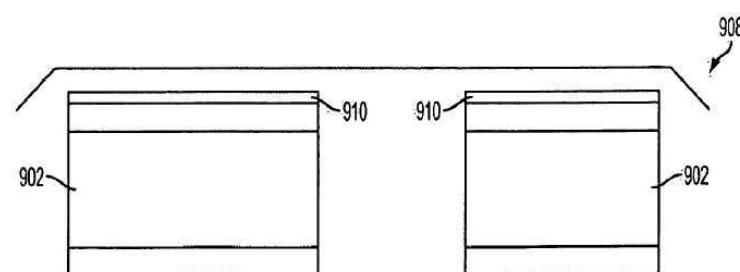
도면9A



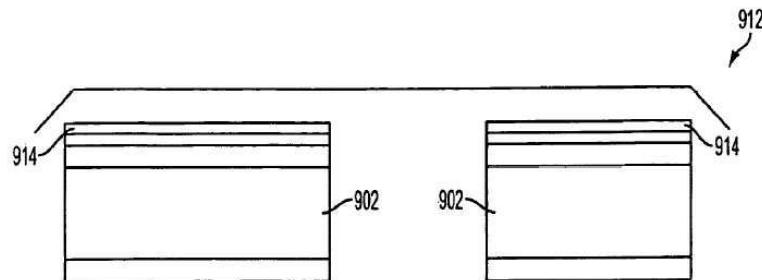
도면9B



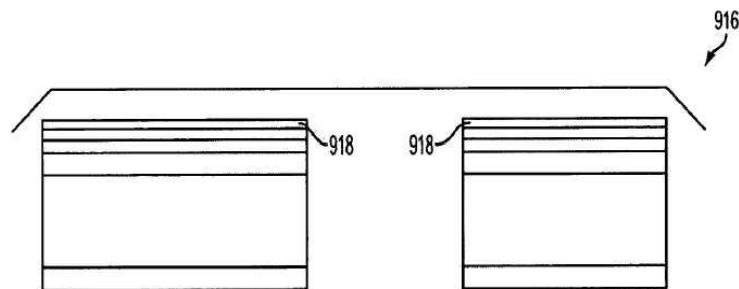
도면9C



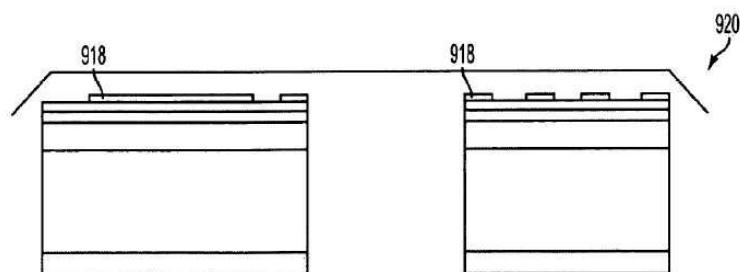
도면9D



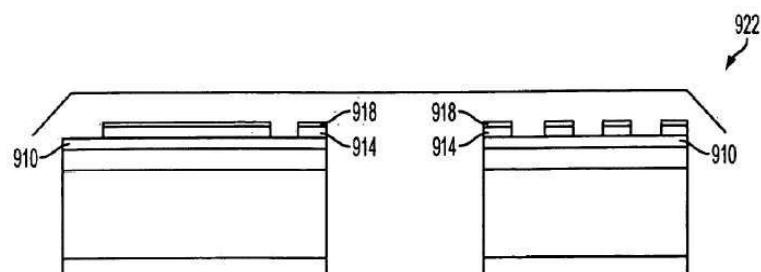
도면9E



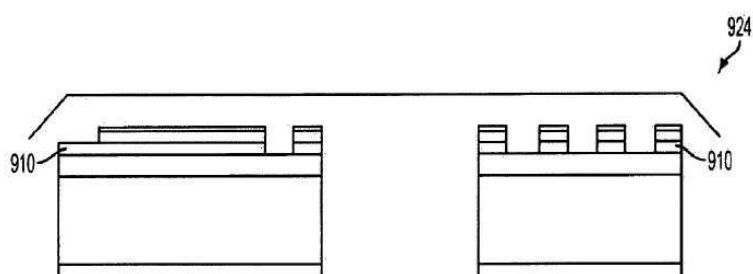
도면9F



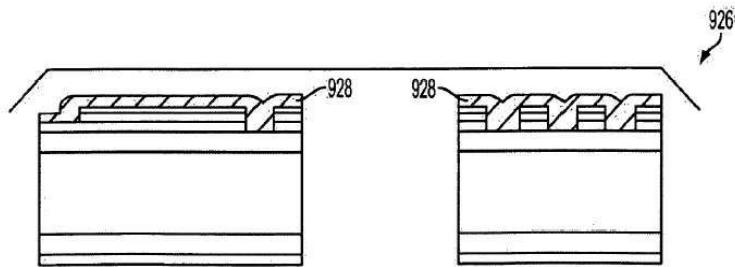
도면9G



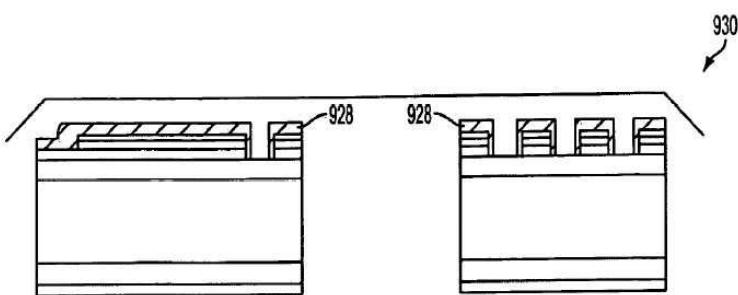
도면9H



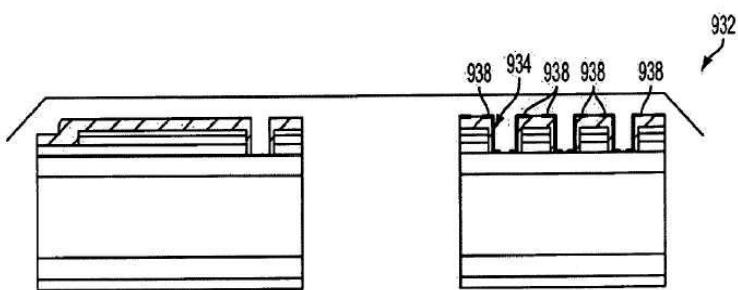
도면9I



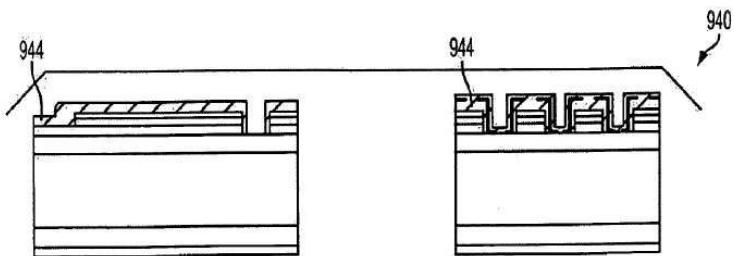
도면9J



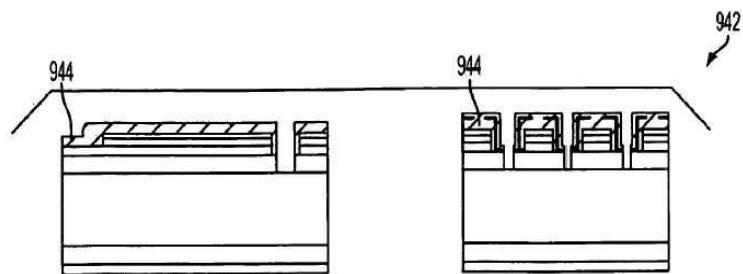
도면9K



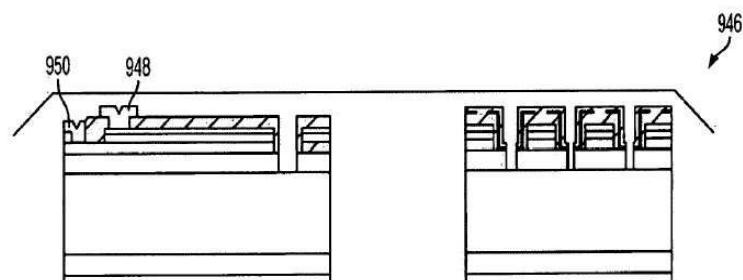
도면9L



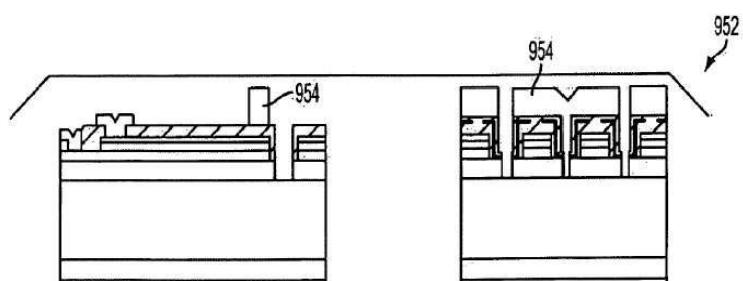
도면9M



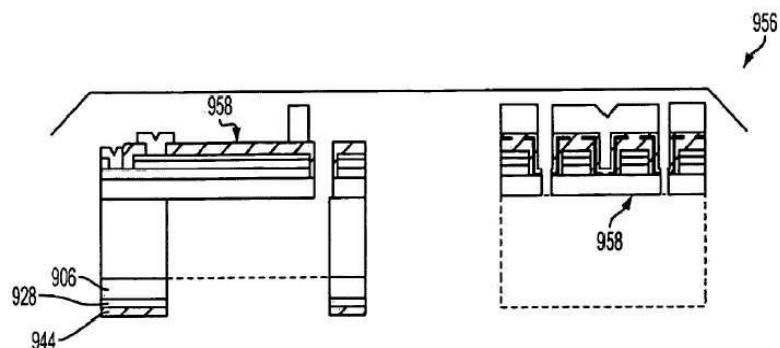
도면9N



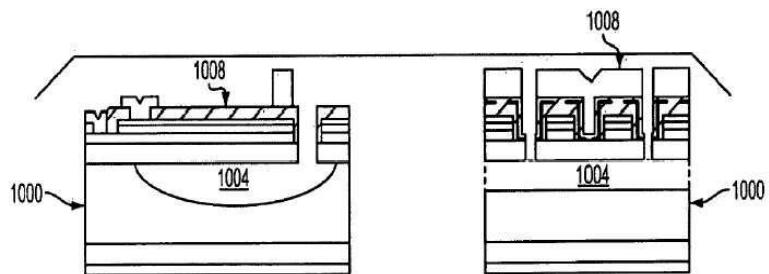
도면9O



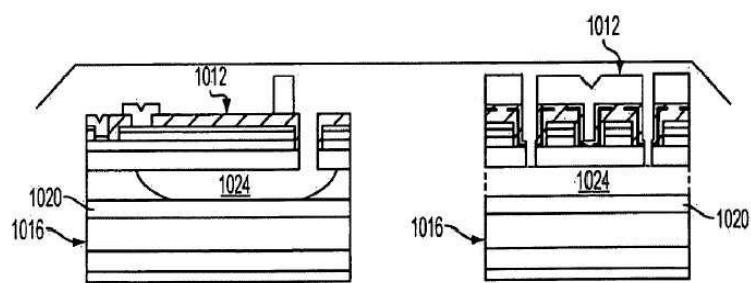
도면9P



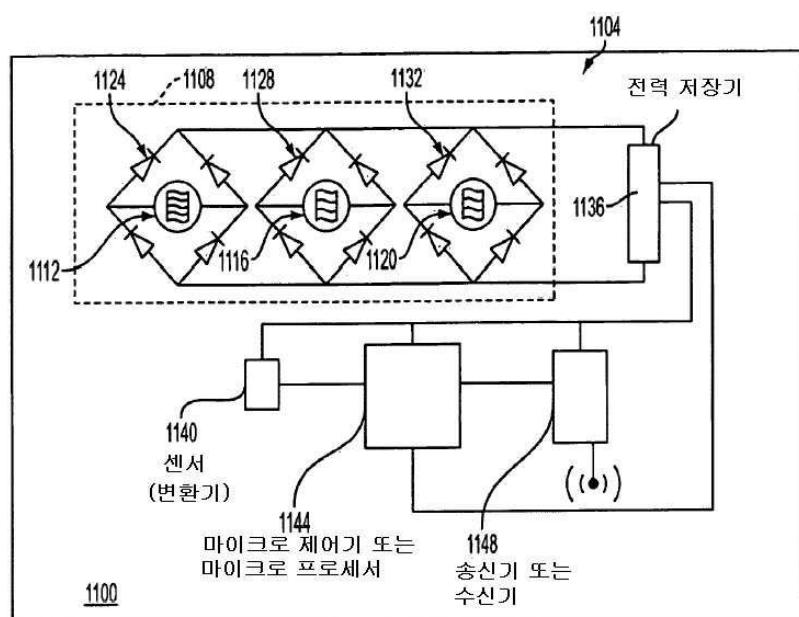
도면10A



도면10B



도면11



도면12

