



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년05월31일
(11) 등록번호 10-1984841
(24) 등록일자 2019년05월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01P 1/208 (2006.01) H01P 11/00 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
H01P 1/2084 (2013.01)
H01P 11/008 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2017-0166666
- (22) 출원일자 2017년12월06일
심사청구일자 2017년12월06일
- (56) 선행기술조사문헌
EUNSONGYI LEE 외 4인, "Active switching and tuning of sharp Fano resonances in the mid-infrared spectral region", OPTICS EXPRESS, Vol. 24, No. 22, 2016년.*
Adnan Daud Khan외 4인, "Multiple higher-order Fano resonances in plasmonic hollow cylindrical nanodimer", Appl. Phys. A, 2015년.*
F. Castles외 9인, "Microwave dielectric characterisation of 3D-printed BaTiO3/ABS polymer composites", Scientific Reports volume 6, Article number: 22714, 2016년.*
LEE Eunsongyi외 4인, "Fano resonances in the microwave region supported by 3D-printable hollow dielectric resonators", 2017년 가을 학술논문발표회 및 임시총회, 2017 KPS Fall Meeting, 2017.10.25 - 2017.10.27
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
- (72) 발명자
전영철
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교
이은송이
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교
(뒷면에 계속)
- (74) 대리인
제일특허법인(유)

전체 청구항 수 : 총 13 항

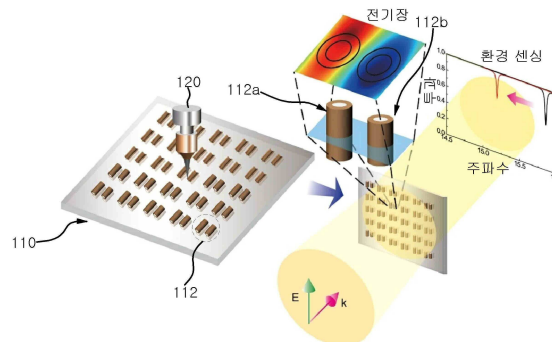
심사관 : 김상철

(54) 발명의 명칭 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기와 구조체 및 그 제조 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기는, 베이스 기판과, 상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 1 중공 구조체와, 상기 제 1 중공 구조체의 길이 방향으로 평행하게 상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 2 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 2 중공 구조체를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

서인철

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

정훈엽

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

안수찬

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

우병훈

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술대학교

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711060127

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(미래부)

연구과제명 사물인터넷 응용을 위한 4D 프린팅 기반 자극반응형 메타물질 개발

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2017.11.01 ~ 2018.10.31

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

베이스 기판과,

상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 1 중공 구조체와,

상기 제 1 중공 구조체의 길이 방향으로 평행하게 상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 2 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 2 중공 구조체

를 포함하고,

상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,

서로 다른 길이를 가지며,

상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,

서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는

3D 프린팅 기반의 유전체 공진기.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

베이스 기판과,

상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 1 중공 구조체와,

상기 제 1 중공 구조체의 길이 방향으로 평행하게 상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 2 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 2 중공 구조체

를 포함하고,

상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,

동일한 길이를 가지며,

상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,

서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는

3D 프린팅 기반의 유전체 공진기.

청구항 7

제 1 항에 있어서,
상기 제 1 및 제 2 중공 구조체 각각은,
폴리머 복합재료(composite)로 구성되는
3D 프린팅 기반의 유전체 공진기.

청구항 8

제 7 항에 있어서,
상기 폴리머 복합재료는,
BaTiO₃, SrTiO₃, BaSrTiO₃, CaTiO₃ 중 적어도 어느 하나와 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene), PLA(polylactic acid), PET(Polyethylene terephthalate), Nylon, TPE(thermoplastic elastomers), TPU(Thermoplastic polyurethane), PC(Polycarbonate) 중 적어도 어느 하나가 혼합된 복합물질인
3D 프린팅 기반의 유전체 공진기.

청구항 9

유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판을 제작하는 단계와,
상기 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여, 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체를 상기 베이스 기판 상에 길이 방향으로 서로 평행하게 형성하는 단계
를 포함하고,
상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,
서로 다른 길이로 형성되며,
상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,
서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는
3D 프린팅 기반의 유전체 공진기의 제조 방법.

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판을 제작하는 단계와,
상기 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여, 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체를 상기 베이스 기판 상에 길이 방향으로 서로 평행하게 형성하는 단계

를 포함하고,
 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,
 동일한 길이로 형성되며,
 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,
 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는
 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기의 제조 방법.

청구항 15

베이스 기판과,
 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 각 길이 방향으로 내부에 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 상기 베이스 기판 상에 형성된 공진기 어레이
 를 포함하고,
 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,
 서로 다른 길이를 가지며,
 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,
 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는
 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체.

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

베이스 기판과,
 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 각 길이 방향으로 내부에 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 상기 베이스 기판 상에 형성된 공진기 어레이
 를 포함하고,
 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,
 동일한 길이를 가지며,
 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,
 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는
 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체.

청구항 21

제 15 항에 있어서,
상기 제 1 및 제 2 중공 구조체 각각은,
폴리머 복합재료(composite)로 구성되는
3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체.

청구항 22

제 21 항에 있어서,
상기 폴리머 복합재료는,
BaTiO₃, SrTiO₃, BaSrTiO₃, CaTiO₃ 중 적어도 어느 하나와 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene), PLA(polylactic acid), PET(Polyethylene terephthalate), Nylon, TPE(thermoplastic elastomers), TPU(Thermoplastic polyurethane), PC(Polycarbonate) 중 적어도 어느 하나가 혼합된 복합물질인
3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체.

청구항 23

제 15 항에 있어서,
상기 베이스 기판은,
투명 재질의 기판인
3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체.

청구항 24

유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판을 제작하는 단계와,
상기 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여, 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기가 N×N 매트릭스 배열로 배치되는 공진기 어레이를 상기 베이스 기판 상에 형성하는 단계를 포함하고,
상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,
서로 다른 길이로 형성되며,
상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,
서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는
3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체의 제조 방법.

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판을 제작하는 단계와,

상기 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여, 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 배치되는 공진기 어레이를 상기 베이스 기판 상에 형성하는 단계

를 포함하고,

상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는,

동일한 길이로 형성되며,

상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은,

서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는

3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체의 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 유전체(dielectric) 공진기에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 마이크로파 감지를 통해 원거리의 환경 변화를 감지(모니터링)할 수 있는 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기와 구조체 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 일반적으로, 다양한 산업분야에서 널리 사용되고 있는 광학 센서는 유전체 공진기 어레이 등을 이용하여 구성되는 센서의 일종인 것으로, 특정 파장대(예컨대, 마이크로파 등)의 주파수를 통해 원거리의 환경 변화를 감지하는 센서 분야에서 주로 이용되고 있다.
- [0003] 이런 원거리 센서를 구현하기 위해서는 환경 변화에 매우 민감한 공명특성을 갖는 전자기 공명 구조체가 필요하나, 기존의 절삭 기반(subtractive manufacturing) 제작 방식으로는 구현할 수 있는 구조에 한계가 있다.
- [0004] 특히, 복잡한 형상의 공명 구조를 제작하기 위해서는 제작 원가가 상대적으로 높다는 문제가 있다. 3D 프린팅은 한층 한층 씩 쌓아 올리는 적층 가공 제작(additive manufacturing)으로서, 기존의 방식으로는 제작하기 힘든 복잡한 유전체 공명 구조를 본 발명의 실시예에 따라 저렴한 가격에 제작할 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제2017-0057922호(공개일: 2017. 05. 26.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 관통공이 각각 형성된 두 개의 중공 구조체를 이용하여 원거리의 환경 변화를 감지(모니터링)할 수 있는 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기와 그 제조 방법을 제안한다.
- [0007] 또한, 본 발명은 관통공이 각각 형성된 한 쌍의 중공 구조체로 된 유전체 공진기가 $N \times N$ 매트릭스 형태로 배열되는 공진기 어레이를 통해 원거리의 환경 변화를 고정밀하게 감지할 수 있는 3D 프린팅 기반의 공진기 구조체와 그 제조 방법을 제안한다.
- [0008] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 상기에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 해결하고

자 하는 과제는 아래의 기재들로부터 본 발명이 속하는 통상의 지식을 가진 자에 의해 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명은, 일 관점에 따라, 베이스 기판과, 상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 1 중공 구조체와, 상기 제 1 중공 구조체의 길이 방향으로 평행하게 상기 베이스 기판 상에 형성되며, 소정 크기의 내부 지름을 갖는 제 2 관통공이 길이 방향으로 내부에 형성된 제 2 중공 구조체를 포함하는 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기를 제공할 수 있다.
- [0010] 본 발명의 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 서로 다른 길이를 가질 수 있다.
- [0011] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0012] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 동일한 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0013] 본 발명의 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 동일한 길이를 가질 수 있다.
- [0014] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0015] 본 발명의 상기 제 1 및 제 2 중공 구조체 각각은, 폴리머 복합재료(composite)로 구성될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 상기 폴리머 복합재료는, BaTiO_3 , SrTiO_3 , BaSrTiO_3 , CaTiO_3 중 적어도 어느 하나와 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene), PLA(polylactic acid), PET(Polyethylene terephthalate), Nylon, TPE(thermoplastic elastomers), TPU(Thermoplastic polyurethane), PC(Polycarbonate) 중 적어도 어느 하나가 혼합된 복합물질일 수 있다.
- [0017] 본 발명은, 다른 관점에 따라, 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판을 제작하는 단계와, 상기 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여, 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체를 상기 베이스 기판 상에 길이 방향으로 서로 평행하게 형성하는 단계를 포함하는 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 제조 방법을 제공할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 서로 다른 길이로 형성될 수 있다.
- [0019] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0020] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 동일한 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0021] 본 발명의 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 동일한 길이로 형성될 수 있다.
- [0022] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0023] 본 발명은, 또 다른 관점에 따라, 베이스 기판과, 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 각 길이 방향으로 내부에 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 상기 베이스 기판 상에 형성된 공진기 어레이를 포함하는 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체를 제공할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 서로 다른 길이를 가질 수 있다.
- [0025] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0026] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 동일한 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0027] 본 발명의 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 동일한 길이를 가질 수 있다.
- [0028] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.
- [0029] 본 발명의 상기 제 1 및 제 2 중공 구조체 각각은, 폴리머 복합재료(composite)로 구성될 수 있다.
- [0030] 본 발명의 상기 폴리머 복합재료는, BaTiO_3 , SrTiO_3 , BaSrTiO_3 , CaTiO_3 중 적어도 어느 하나와 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene), PLA(polylactic acid), PET(Polyethylene terephthalate), Nylon, TPE(thermoplastic elastomers), TPU(Thermoplastic polyurethane), PC(Polycarbonate) 중 적어도 어느 하나

가 혼합된 복합물질일 수 있다.

[0031] 본 발명의 상기 베이스 기관은, 투명 재질의 기관일 수 있다.

[0032] 본 발명은, 또 다른 관점에 따라, 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기관을 제작하는 단계와, 상기 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여, 소정 크기의 내부 지름을 각각 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 배치되는 공진기 어레이를 상기 베이스 기관 상에 형성하는 단계를 포함하는 3D 프린팅 기반의 유전체 공진기 구조체의 제조 방법을 제공할 수 있다.

[0033] 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 서로 다른 길이로 형성될 수 있다.

[0034] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.

[0035] 본 발명의 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 동일한 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.

[0036] 상기 제 1 중공 구조체와 상기 제 2 중공 구조체는, 동일한 길이로 형성될 수 있다.

[0037] 상기 제 1 관통공과 상기 제 2 관통공은, 서로 다른 크기의 내부 지름을 가질 수 있다.

발명의 효과

[0038] 본 발명의 실시 예에 따르면, 3D 프린팅 기술로 제작 가능하며, 관통공이 각각 형성된 한 쌍의 중공 구조체로 된 유전체 공진기를 이용하여 원거리의 환경 변화를 감지하도록 함으로써, 광학 센서의 구조적 소형화를 실현할 수 있다.

[0039] 본 발명의 실시 예에 따르면, 3D 프린팅 기술로 제작 가능하며, 관통공이 각각 형성된 한 쌍의 중공 구조체로 된 유전체 공진기가 $N \times N$ 매트릭스 형태로 배열된 공진기 어레이를 통해 원거리의 환경 변화를 고정밀하게 감지하도록 함으로써, 유전체 공진기의 민감도를 더욱 증진시킬 수 있다.

[0040] 본 발명의 실시예에 따른 원통 형상의 한 쌍의 중공 구조체로 된 유전체 공진기(coupled hollow dielectric resonator)는 선폭이 매우 작고 주변 굴절을 변화에 매우 민감한 파노 공명(Fano resonance)을 나타낼 수 있어 원거리 환경감지에 매우 유리하다.

[0041] 특히, 본 발명의 실시예에 따르면, 속이 텅 빈(hollow) 구조의 내부로 분자들이 직접 들어가 공명 특성을 크게 변화시킬 수 있으므로, 원거리 저농도 분자 감지에 유리한데, 본 실시예에 따르면, 중공 구조체의 내부에 형성된 관통공의 내부 내부 지름이 커질수록 민감도(Sensitivity)가 점진적으로 커짐을 알 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0042] 도 1은 본 발명의 실시예에 따라 제작된 3D 프린팅 기반의 공진기 구조체를 이용하여 외부 환경 변화를 감지하는 원리를 설명하기 위한 모식도이다.

도 2a는 본 발명의 실시예에 따라 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 유전체 공진기의 파노 공진의 투과와 반사 스펙트라를 보여주는 도면이며, 도 2b는 내부 지름에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.

도 3a 및 3b는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 유전체 공진기의 구조 및 내부 지름의 크기에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.

도 4a 및 4b는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 유전체 공진기의 구조 및 내부 지름의 크기에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.

도 5a 및 5b는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 유전체 공진기의 구조 및 내부 지름의 크기에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.

도 6은 유전체 공진기 내부에 관통공이 없을 때를 기준으로 하는 서로 다른 크기의 관통공에 의한 FoM의 향상율을 예시적으로 보여주는 도면이다.

도 7a 및 7b는 중공 구조체의 길이 차이에 따른 파노 공진의 공진 특성을 예시적으로 보여주는 도면이다.

도 8a 및 8b는 속이 빈 원통 한 쌍으로 이루어진 유전체 공진기의 외부 환경이 변함에 따라 투과 스펙트라에서 파노 공진의 공진 주파수가 이동하는 현상을 보여주는 도면이다.

도 9는 내부 지름의 크기에 따라 유전체 공진기의 민감도가 변화하는 현상을 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0043] 먼저, 본 발명의 장점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 여기에서, 본 발명은 이하에서 개시되는 실시 예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 발명의 범주를 명확하게 이해할 수 있도록 하기 위해 예시적으로 제공되는 것이므로, 본 발명의 기술적 범위는 청구항들에 의해 정의되어야 할 것이다.
- [0044] 아울러, 아래의 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성 등에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들인 것으로, 이는 사용자, 운용자 등의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있음은 물론이다. 그러므로, 그 정의는 본 명세서의 전반에 걸쳐 기술되는 기술사상을 토대로 이루어져야 할 것이다.
- [0045] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예에 대하여 상세하게 설명한다.
- [0046] 도 1은 본 발명의 실시예에 따라 제작된 3D 프린팅 기반의 공진기 구조체를 이용하여 외부 환경 변화를 감지하는 원리를 설명하기 위한 모식도이다.
- [0047] 도 1을 참조하면, 3D 프린팅 기반의 공진기 구조체는 베이스 기판(110)과 한 쌍의 중공 구조체(112)가 베이스 기판(110) 상에 $N \times N$ 의 매트릭스 배열(예컨대, 5×5 매트릭스 배열 등)로 형성(배치)되는 공진기 어레이 등을 포함할 수 있다. 이때, 베이스 기판(110)은, 예컨대 유전체 물질로 된 투명 재질의 기판(투명 기판)으로 형성될 수 있다.
- [0048] 여기에서, 한 쌍의 중공 구조체(112)는 본 발명의 실시예에 따른 유전체 공진기로 정의될 수 있으며, 한 쌍의 중공 구조체(112)는, 예컨대 제 1 중공 구조체(112a)와 제 2 중공 구조체(112b)로 구분될 수 있다.
- [0049] 이때, 제 1 중공 구조체(112a)와 제 2 중공 구조체(112b)는 기 설정된 이격 거리를 두고 길이 방향으로 평행하게 베이스 기판(110) 상에 형성될 수 있으며, 각 중공 구조체 각각의 길이는 대략 수 cm 내지 수 mm 범위일 수 있다.
- [0050] 또한, 제 1 중공 구조체(112a)와 제 2 중공 구조체(112b)는 길이가 다르거나 혹은 동일할 수 있으며, 길이 방향을 따라 내부에 각각 형성되는 각 관통공(또는 원통)은 내부 지름이 서로 다르거나 혹은 동일할 수 있는데, 이에 대해서는 도 2 내지 도 5를 참조하여 후에 상세하게 기술될 것이다.
- [0051] 예컨대, 공진기 어레이는 서로 다른 길이를 가지며, 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 관통공이 각각 형성된 두 개의 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기(112)가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 베이스 기판(110) 상에 배치되는 형태로 구성될 수 있다.
- [0052] 여기에서, 유전체 공진기를 구성하는 두 개의 중공 구조체 중 상대적으로 길이가 짧은 중공 구조체의 내부 지름과 상대적으로 길이가 긴 중공 구조체의 내부 지름은 서로 다른 크기를 가질 수 있다.
- [0053] 다른 예로서, 공진기 어레이는 동일한 길이를 가지며, 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 관통공이 각각 형성된 두 개의 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기(112)가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 베이스 기판(110) 상에 배치(형성)되는 형태로 구성될 수 있다.
- [0054] 도 1에 있어서, 미설명번호 120은 유전체 공진기를 구성하는 중공 구조체용 물질, 예컨대 BaTiO_3 /ABS 폴리머 복합재료(composite) 등과 같은 물질을 공급하는 공급 헤드 등을 의미할 수 있다.
- [0055] 여기에서, 중공 구조체용 물질로서는 BaTiO_3 뿐만 아니라 일반적으로 고유전율(high permittivity)의 강유전체 세라믹 입자(ferroelectric ceramic powder)(예컨대, SrTiO_3 , BaSrTiO_3 , CaTiO_3 등)라면 사용하는 것이 모두 가능하다.
- [0056] 또한 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene) 뿐만 아니라 용착 조형 공정(FDM: Fused deposition modeling) 3D 프린팅에 이용할 수 있는 열가소성 플라스틱(thermoplastic)이라면 모두 사용 가능하다. 예컨대, PLA(polylactic acid), PET(Polyethylene terephthalate), Nylon, TPE(thermoplastic elastomers),

TPU(Thermoplastic polyurethane), PC(Polycarbonate) 등이 사용될 수 있으며, 용착 조형 공정 이외에도 분사(jetting) 방식의 3D 프린팅 방식을 이용하는 경우에는 중공 구조체용 물질로서, 예컨대 UV 광경화 중합체(photopolymer)가 사용될 수도 있다.

- [0057] 그리고, 본 실시예에 따른 공진기 구조체는 3D 프린팅 기법을 통해 제작될 수 있다. 즉, 유전체(dielectric) 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 투명 재질의 베이스 기판(110)을 제작하고, 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공과 제 2 관통공이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체로 된 다수의 유전체 공진기(112)가 $N \times N$ 매트릭스 배열로 배치되는 공진기 어레이를 베이스 기판(110) 상에 형성하는 방식으로 제작할 수 있다.
- [0058] 본 실시예에 따른 공진기 구조체는, 일례로서 도 1에 도시된 모식도에서와 같이, 원격 환경 센싱(remote environmental sensing)을 위한 소자와 소자를 통한 측정에 이용될 수 있는데, 예컨대 마이크로파를 감지하는 유전체 공진기는 속이 빈 원통 형상(관통공 형상)의 중공 구조체 2개가 한 쌍이 되어 베이스 기판 상에 주기적으로 배치될 수 있다.
- [0059] 이와 같이 속이 빈 원통 형상의 구조는 기존의 다른 방법으로는 제작이 어려울 수 있으나, 3D 프린터를 이용하면 간단하게 제작할 수 있다. 여기에서, 중공 구조체의 재료로서는, 예컨대 3D 프린터로 제조가 가능한 물질이 이용될 수 있다.
- [0060] 이때, 공진 특성을 극대화하고자 굴절률을 높이기 위해 BaTiO_3 중량 백분율을 증가시키면 오히려 광학적 손실이 크게 발생하여 성능이 저하될 수 있는데, 본 발명의 실시예에서는 단일 구조가 아닌, 길이가 서로 다른(또는 길이가 동일한) 원통 형상의 중공 구조체 두 개가 한 쌍인 공진기 구조를 채택하여 파노 공진(Fano resonance)을 이용하기 때문에 BaTiO_3 중량 백분율을 늘리지 않으면서도 공진 세기(resonance intensity)는 상대적으로 크고 공진폭은 상대적으로 좁은 매우 민감한 공진 특성을 얻을 수 있다.
- [0061] 더욱이, 속이 빈 원통 형상의 구조는 환경 변화에 따른 광학적 굴절률 변화에 대단히 민감한데, 특히 공진기가 이용하는 전기 모드는 원통 중앙의 전기장 세기가 크기 때문에 가스 분자 감지 등의 응용에서 속이 비어 있는 공진기 속으로 분자가 들어갈 경우 이에 따른 변화를 매우 민감하게 감지할 수 있는 장점을 갖는다.
- [0062] 즉, 본 실시예에 따른 유전체 공진기는 외부 굴절률 변화에 따라 마이크로파 영역에서 형성되는 공진 주파수가 이동하게 되며, 이를 통해 환경 변화를 민감하게 감지할 수 있다.
- [0063] 본 실시예에 따른 공진기 구조인 속이 빈 원통에서, 내부 지름(D)의 크기가 공진 특성을 좌우하게 되는데, 일례로서 도 2에 도시된 바와 같이, 내부 지름의 크기를 증가시키면 공진 주파수가 오른쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있는데, 이는 내부 지름이 커지면서 입자의 유효 굴절률이 낮아지기 때문이다.
- [0064] 또한, 속이 빈 원통의 내부 지름이 커지게 되면 공진 피크(peak)의 예민함을 의미하는 Q 팩터(Quality factor)가 커지게 되는 반면 공진 피크의 크기를 나타내는 공진 세기는 감소하게 된다. 이것은 원통의 내부 지름이 커질수록 두 원통 입자 사이의 구조적 비대칭이 감소하여 파노 공진 특성이 강화되기 때문이다.
- [0065] 따라서, Q 팩터와 공진 세기의 곱으로 표현되는 FoM(Figure of Merit)은 특정한 내부 지름(예컨대, 0.6D0 등)에서 최대값을 나타낼 수 있다.
- [0066] 도 2a는 본 발명의 실시예에 따라 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 유전체 공진기의 파노 공진의 투과와 반사 스펙트라를 보여주는 도면이며, 도 2b는 내부 지름에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.
- [0067] 도 2a를 참조하면, BaTiO_3 가 0% 함유된 경우($n=1.6$, $k=0.00376$), 즉 광학적 굴절률이 작지만 손실도 매우 작은 물질을 이용할 경우 속이 빈 원통 한 쌍의 내부 지름(D)의 크기를 변화시키면서 스펙트라를 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- [0068] 도 2b를 참조하면, 원통 형상의 내부 지름의 크기에 따른 공진 특성(Q 팩터, 공진 세기, FoM)을 보여주는데, 안쪽 구멍의 크기가 커질수록 Q 팩터는 증가하지만 공진 세기는 감소함을 알 수 있다. 이것은 원통 형상의 내부 지름이 커질수록 두 원통 입자 사이의 구조적 비대칭이 감소하기 때문인데, 구조적 비대칭의 감소가 상대적으로 높은 Q 팩터와 상대적으로 약한 공진 세기를 야기함을 알 수 있다.
- [0069] 도 3a 및 3b는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 유전체 공진기의 구조 및 내부 지름의 크기에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.

- [0070] 도 3a를 참조하면, 본 실시예의 유전체 공진기, 즉 $N \times N$ 매트릭스 배열로 베이스 기판 상에 배치되는 각 유전체 공진기는 제 1 중공 구조체(310)와 이 제 1 중공 구조체(310)로부터 일정 거리만큼 이격되어 평행하게 배치되는 제 2 중공 구조체(320)로 구성될 수 있다.
- [0071] 여기에서, 제 1 중공 구조체(310)는 기 설정된 소정 길이를 가지며, 기 설정된 크기의 내부 지름(예컨대, 0.3D0 등)을 갖는 제 1 관통공(312)이 길이 방향을 따라 내부에 형성될 수 있다.
- [0072] 또한, 제 2 중공 구조체(320)는 제 1 중공 구조체(310)의 길이보다 상대적으로 긴 길이를 가지고, 제 1 중공 구조체(310)에 대해 길이 방향으로 평행하게 이격 배치되며, 제 1 관통공(312)의 내부 지름의 크기와는 다른 크기의 내부 지름을 갖는 제 2 관통공(322)이 길이 방향을 따라 내부에 형성될 수 있다.
- [0073] 예컨대, 제 1 관통공(312)의 내부 지름이 고정 크기라고 정의될 때, 제 2 관통공(322)의 내부 지름은 제 1 관통공(312)의 고정 크기와는 다른 크기를 갖는 가변 크기로 정의될 수 있다.
- [0074] 그리고, 본 실시예의 유전체 공진기를 구성하는 제 1 및 제 2 중공 구조체(310, 320) 각각은, 예컨대 폴리머 복합재료 등을 이용하여 3D 프린팅 기술로 베이스 기판 상에 형성될 수 있다. 여기에서, 폴리머 복합재료는, 예컨대 BaTiO_3 , SrTiO_3 , BaSrTiO_3 , CaTiO_3 중 적어도 어느 하나와 ABS, PLA, PET, Nylon, TPE, TPU, PC 중 적어도 어느 하나가 혼합된 복합물질일 수 있다.
- [0075] 도 3b를 참조하면, 본 실시예의 유전체 공진기는 제 2 중공 구조체(320)의 관통공(원통)의 내부 지름의 크기 변화를 통해 유전체 공진기의 구조적 비대칭을 조정할 수 있으며, 이를 통해 파노 공진의 Q 팩터와 공진 세기를 조절할 수 있음을 알 수 있다.
- [0076] 그리고, 본 실시예에 따른 유전체 공진기는 3D 프린팅 기법을 통해 제작될 수 있다. 즉, 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판(도시 생략)을 제작하고, 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공(312)과 제 2 관통공(322)이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체(310)와 제 2 중공 구조체(320)를 베이스 기판 상에 길이 방향으로 서로 평행하게 형성하는 배치 구조로 제작할 수 있다.
- [0077] 도 4a 및 4b는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 유전체 공진기의 구조 및 내부 지름의 크기에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.
- [0078] 도 4a를 참조하면, 본 실시예의 유전체 공진기, 즉 $N \times N$ 매트릭스 배열로 베이스 기판 상에 형성되는 각 유전체 공진기는 제 1 중공 구조체(410)와 이 제 1 중공 구조체(410)로부터 일정 거리만큼 이격되어 평행하게 배치되는 제 2 중공 구조체(420)로 구성될 수 있다.
- [0079] 여기에서, 제 1 중공 구조체(410)는 기 설정된 소정 길이를 가지며, 후술하는 제 2 관통공(422)의 내부 지름의 크기와는 다른 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공(412)이 길이 방향을 따라 내부에 형성될 수 있다.
- [0080] 또한, 제 2 중공 구조체(420)는 제 1 중공 구조체(410)의 길이보다 상대적으로 긴 길이를 가지고, 제 1 중공 구조체(410)에 대해 길이 방향으로 평행하게 이격 배치되며, 길이 방향을 따라 내부에 기 설정된 크기의 내부 지름(예컨대, 0.3D0 등)을 갖는 제 2 관통공(422)이 형성될 수 있다.
- [0081] 예컨대, 제 2 관통공(422)의 내부 지름이 고정 크기라고 정의될 때, 제 1 관통공(412)의 내부 지름은 제 2 관통공(422)의 고정 크기와는 다른 크기를 갖는 가변 크기로 정의될 수 있다.
- [0082] 그리고, 본 실시예의 유전체 공진기를 구성하는 제 1 및 제 2 중공 구조체(410, 420) 각각은, 예컨대 폴리머 복합재료 등을 이용하여 3D 프린팅 기술로 베이스 기판 상에 형성될 수 있다. 여기에서, 폴리머 복합재료는, 예컨대 BaTiO_3 , SrTiO_3 , BaSrTiO_3 , CaTiO_3 중 적어도 어느 하나와 ABS, PLA, PET, Nylon, TPE, TPU, PC 중 적어도 어느 하나가 혼합된 복합물질일 수 있다.
- [0083] 도 4b를 참조하면, 본 실시예의 유전체 공진기는 제 1 중공 구조체(410)의 관통공(원통)의 내부 지름의 크기 변화를 통해 유전체 공진기의 구조적 비대칭을 조정할 수 있으며, 이를 통해 파노 공진의 Q 팩터와 공진 세기를 조절할 수 있음을 알 수 있다.
- [0084] 그리고, 본 실시예에 따른 유전체 공진기는 3D 프린팅 기법을 통해 제작될 수 있다. 즉, 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판(도시 생략)을 제작하고, 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공(412)과 제 2 관통공(422)이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체(410)와 제 2 중공 구조체(420)를 베이스 기판 상에 길이 방향으로 서로 평행하게 형성하는 배치 구조로 제작할 수 있다.

- [0085] 한편, 제 1 실시예와 제 2 실시예에서는 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체가 서로 다른 길이를 갖고, 제 1 관통공과 제 2 관통공의 내부 지름이 서로 다른 크기를 갖는 것으로 하여 설명하였으나, 상술한 바와는 달리, 제 1 중공 구조체와 제 2 중공 구조체가 서로 다른 길이를 갖지만, 제 1 관통공과 제 2 관통공의 내부 지름은 동일한 크기를 갖도록 설계할 수도 있음은 물론이다.
- [0086] 도 5a 및 5b는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 유전체 공진기의 구조 및 내부 지름의 크기에 따른 공진 특성을 보여주는 도면이다.
- [0087] 도 5a를 참조하면, 본 실시예의 유전체 공진기, 즉 $N \times N$ 매트릭스 배열로 베이스 기판 상에 배치되는 각 유전체 공진기는 제 1 중공 구조체(510)와 이 제 1 중공 구조체(510)로부터 일정 거리만큼 이격되어 평행하게 배치되는 제 2 중공 구조체(520)로 구성될 수 있다.
- [0088] 여기에서, 제 1 중공 구조체(510)는 기 설정된 소정 길이를 가지며, 후술하는 제 2 관통공(522)의 내부 지름의 크기와는 다른 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공(512)이 길이 방향을 따라 내부에 형성될 수 있다.
- [0089] 또한, 제 2 중공 구조체(520)는 제 1 중공 구조체(510)의 길이와 동일한 길이를 가지고, 제 1 중공 구조체(510)에 대해 길이 방향으로 평행하게 이격 배치되며, 기 설정된 크기의 내부 지름(예컨대, $0.3D_0$ 등)을 갖는 제 2 관통공(522)이 길이 방향을 따라 내부에 형성될 수 있다.
- [0090] 예컨대, 제 2 관통공(522)의 내부 지름이 고정 크기라고 정의될 때, 제 1 관통공(512)의 내부 지름은 제 2 관통공(522)의 고정 크기와는 다른 크기를 갖는 가변 크기로 정의될 수 있다.
- [0091] 그리고, 본 실시예의 유전체 공진기를 구성하는 제 1 및 제 2 중공 구조체(510, 520) 각각은, 예컨대 폴리머 복합재료 등을 이용하여 3D 프린팅 기술로 베이스 기판 상에 형성될 수 있다. 여기에서, 폴리머 복합재료는, 예컨대 $BaTiO_3$, $SrTiO_3$, $BaSrTiO_3$, $CaTiO_3$ 중 적어도 어느 하나와 ABS, PLA, PET, Nylon, TPE, TPU, PC 중 적어도 어느 하나가 혼합된 복합물질일 수 있다.
- [0092] 한편, 본 실시예에서는 제 1 중공 구조체(510) 내의 제 1 관통공(512)의 내부 지름을 가변 크기로 하고 제 2 중공 구조체(520) 내의 제 2 관통공(522)의 내부 지름을 고정 크기로 하는 것으로 하여 설명하였으나, 본 실시예가 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 그 반대로 구성할 수도 있음은 물론이다.
- [0093] 도 5b를 참조하면, 본 실시예의 유전체 공진기는 제 1 중공 구조체(510)의 관통공(원통)의 내부 지름의 크기 변화를 통해 유전체 공진기의 구조적 비대칭을 조정할 수 있으며, 이를 통해 파노 공진의 Q 팩터와 공진 세기를 조절할 수 있음을 알 수 있다.
- [0094] 그리고, 본 실시예에 따른 유전체 공진기는 3D 프린팅 기법을 통해 제작될 수 있다. 즉, 유전체 물질을 이용하는 3D 프린팅 기술을 이용하여 베이스 기판(도시 생략)을 제작하고, 서로 다른 크기의 내부 지름을 갖는 제 1 관통공(512)과 제 2 관통공(522)이 내부에 길이 방향으로 각각 형성된 제 1 중공 구조체(510)와 제 2 중공 구조체(520)를 베이스 기판 상에 길이 방향으로 서로 평행하게 형성하는 배치 구조로 제작할 수 있다.
- [0095] 다른 한편, 본 발명의 다양한 실시예에 따른 유전체 공진기(또는 유전체 공진기 구조체)를 구성하는 중공 구조체의 속이 빈 원통에서, 내부 지름(D)의 크기는 공진 특성을 좌우하는데, 두 중공 구조체의 정확한 지름 크기에 따라 약간의 차이는 있지만, 일례로서 제시된 도 2의 구조체(지름 $D_0 = 7.4mm$)의 경우 내부 지름이 $D = 0.6D_0 (4.44mm)$ 일 때 FoM이 최대를 나타내고 그보다 크거나 작을 경우 Q 팩터나 공진 세기가 약해져 성능 향상이 저하됨을 알 수 있다.
- [0096] 도 6은 유전체 공진기 내부에 관통공이 없을 때(관통공 크기 $D/D_0 = 0$)를 기준으로 하는, 서로 다른 크기의 관통공에 의한 FoM의 향상율을 예시적으로 보여주는 도면인데, FoM은 $D = 0.6D_0$ 에서 최대 60%까지 향상되며, 빗금친 영역($0.4D_0 < D < 0.75D_0$)에서 최소 20% 이상으로 향상됨을 알 수 있다. 즉, 내부 지름이 $0.4D_0 < D < 0.75D_0$ 영역을 벗어나는 경우 성능 향상이 최대 향상율의 30% 이하로 떨어지게 되므로, 본 실시예에 따른 유전체 공진기의 중공 구조체의 내부 지름은, 예컨대 $0.4D_0 < D < 0.75D_0$ 의 범위가 바람직하다.
- [0097] 즉, 본 발명의 다양한 실시예들에 따르면, 원통(관통공)의 내부 지름의 크기를 원통 한 쌍 내에서 달리할 수 있는데, 이 경우 동일한 크기의 속이 빈 원통의 중공 구조체 한 쌍 내에서의 공진 특성의 변화에 비해 상대적으로 훨씬 폭 넓은 공진 특성의 변화를 실현할 수 있다.
- [0098] 일례로서, 도 3a, 도 4a 및 도 5a에 도시된 바와 같이, 길이가 서로 다르거나 혹은 같은 원통 한 쌍(중공 구조체 한 쌍)의 내부 지름을 다르게 할 경우 Q 팩터와 공진 세기를 더욱 다양하게 변화시킬 수 있는데, 이들 모두

내부 지름의 크기에 의해 원통 한 쌍의 구조적 비대칭 정도를 추가적으로 조절하는 것으로, 도 2에서와 마찬가지로 구조적 비대칭 정도가 낮아지게 되면 Q 팩터가 높아지고 공진 세기는 커지게 되는 원리이다.

- [0099] 다른 한편, 본 발명의 다양한 실시예에 따른 비대칭의 유전체 공진기는 두 중공 구조체의 길이가 약간 다르거나 그 길이 차이가 크지 않은 것이 중요할 수 있다.
- [0100] 일례로서, 도 7은 유전체 공진기 한 쌍에서 하나의 중공 구조체 길이를 고정했을 때 다른 하나의 길이에 따른 파노 공진의 공진 특성(Q 팩터, 공진 세기, FoM)을 예시적으로 보여준다.
- [0101] 도 7a는 BaTiO₃가 0% 함유된 경우($n=1.6$, $k=0.00376$) 관통공이 없는 유전체 공진기 한 쌍에서 하나의 중공 구조체 길이를 $L1=8.5\text{mm}$ 로 고정하고 다른 하나의 길이 $L2$ 를 조절하며 얻은 투과 스펙트럼이다.
- [0102] 도 7a를 참조하면, 상대적 길이가 짧은 중공 구조체의 길이 $L2$ 가 짧아질수록(즉, 길이가 서로 다른 중공 구조체의 두 개의 길이 차이가 커질수록) 두 원통 입자 사이의 구조적 비대칭이 증가하며, 이로 인해 Q 팩터가 작아지고 공진 세기가 세짐을 알 수 있다.
- [0103] 다시 말해, 중공 구조체가 상대적으로 비대칭을 유도하여 길이 차이가 커질수록 공진 피크의 크기는 커지지만 너비 또한 커져 Q 팩터가 작아지게 되므로 특정주파수의 감지가 어렵게 된다. 즉, 길이 $L1$ 이 8.5mm 를 기준으로 길이 $L2$ 가 7mm ($L1 = 8.5\text{mm}$ 일 때 $L1$ 와 $L2$ 의 상대적 길이 차이가 18%)일 때 FoM이 최대를 나타내며, 그보다 크거나 작을 경우 Q 팩터나 공진 세기가 약해져 성능 향상이 저하됨을 알 수 있다.
- [0104] 도 7b는 FoM이 최대를 나타낼 때, 즉 $L2=7\text{mm}$ 의 FoM을 기준으로 하여 $L2$ 의 조절에 따른 FoM의 변화를 보여주는데, 두 중공 구조체의 상대적 길이 차이가 커지면 FoM이 감소하며, 빗금친 영역 밖에서는 최대값의 30% 이하로 FoM이 하락함을 알 수 있다. 즉, 길이 $L2$ 가 $3\text{mm} < L2 < 7.5\text{mm}$ ($10\% < (L1-L2)/L1 < 65\%$) 영역을 벗어나는 경우 FoM이 최대치의 30% 이하로 떨어지게 되므로, 상대적으로 짧은 중공 구조체의 길이는 $10\% < (L1-L2)/L1 < 65\%$ 로 하는 것이 가장 바람직하다.
- [0105] 도 8a 및 8b는 속이 빈 원통 한 쌍(중공 구조체 한 쌍)으로 이루어진 유전체 공진기의 외부 환경이 변함에 따라 투과 스펙트럼에서 파노 공진의 공진 주파수가 이동하는 현상을 보여주는 도면이다.
- [0106] 도 8a는 BaTiO₃가 0% 함유된 경우, 내부 지름(D)이 $0.6D0$ 인 공진기의 투과 스펙트럼인데, 외부 굴절률 n 환경이 1에서 1.10까지 10% 변화하는 동안, 공진 주파수는 일정하게 움직이고 높은 공진 특성도 유지되는 것을 보여준다.
- [0107] 도 8b를 참조하면, 외부 굴절률 변화에 따른 원통 한 쌍의 공진 주파수의 이동과 FoM을 알 수 있는데, 공진 주파수의 이동은 선형적이며, 단위 굴절률(RIU: refractive index unit) 변화 당 파노 공진 주파수의 이동으로 정의되는 민감도(sensitivity)는 대략 10.566 GHz/RIU 로 나타났다. 따라서 속이 빈 유전체 공진기의 파노 공진은 외부 환경의 굴절률 변화에 대단히 민감함을 알 수 있다.
- [0108] 도 9는 내부 지름의 크기에 따라 유전체 공진기의 민감도가 변화하는 현상을 보여주는 도면이다.
- [0109] 즉, 도 9는 도 8에서 보이는 바와 같이 외부 환경의 변화에 따른 공진 주파수의 이동 정도를 나타내는 민감도가 내부 지름의 크기에 따라 변화하는 것을 보여주는데, 민감도는 내부 지름의 크기가 증가함에 따라 점점 빠르게 증가하는 양상을 나타낸다.
- [0110] 따라서, 상대적으로 높은 민감도 값과 투과 스펙트럼 상에서 보이는 뾰족한 공진 피크를 고려할 때, 본 발명의 다양한 실시예에서 제안하는 속이 빈 유전체 공진기가 마이크로파 감지를 통한 원거리의 환경 변화 감지에 매우 적합함을 분명하게 알 수 있다.
- [0111] 한편, 본 발명의 다양한 실시예들에서는 중공 구조체를 원형 형상(원 기둥)으로 하는 것으로 예시하여 설명하였으나, 본 발명이 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 필요 또는 용도 등에 따라 다양한 구조(예컨대, 타원 구조체(타원 기둥), 사각 구조체(사각 기둥) 등)로 구성할 수도 있음은 물론이다.
- [0112] 또한, 본 발명의 다양한 실시예들에서는 중공 구조체의 내부에 형성되는 관통공을 원기둥 구조로 하는 것으로 하여 설명하였으나, 본 발명이 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 필요 또는 용도 등에 따라 다양한 구조(예컨대, 타원 기둥, 사각 기둥 등)로 구성할 수도 있음은 물론이다.
- [0113] 이상의 설명은 본 발명의 기술사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형

및 변경 등이 가능함을 쉽게 알 수 있을 것이다. 즉, 본 발명에 개시된 실시 예들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것으로서, 이러한 실시 예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다.

[0114] 따라서, 본 발명의 보호 범위는 후술되는 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0115]

110 : 베이스 기판

112 : 유전체 공진기

112a, 310, 410, 510 : 제 1 중공 구조체

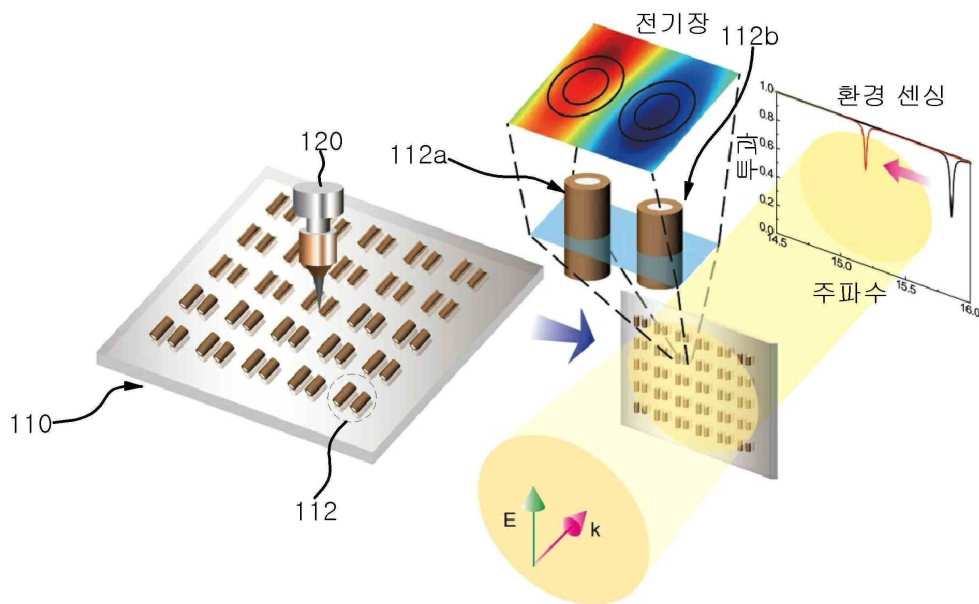
112b, 320, 420, 520 : 제 2 중공 구조체

312, 412, 512 : 제 1 관통공

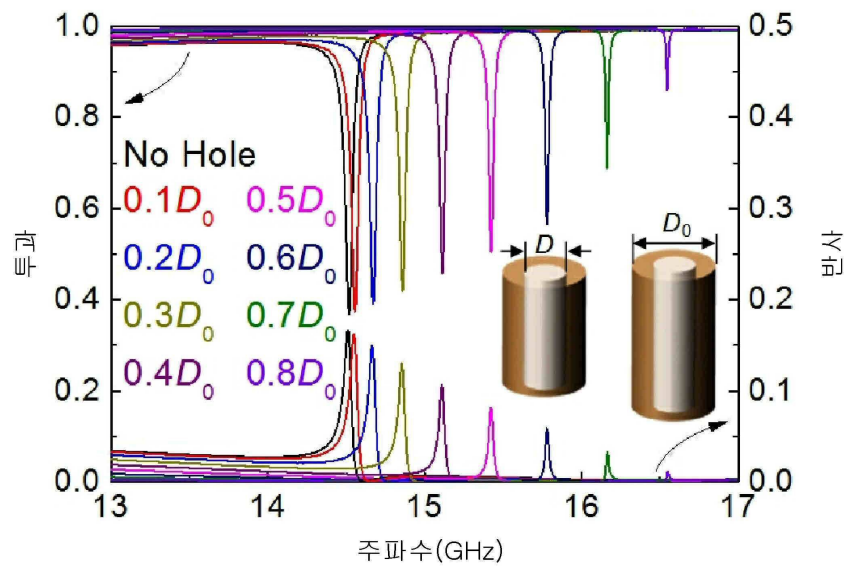
322, 422, 522 : 제 2 관통공

도면

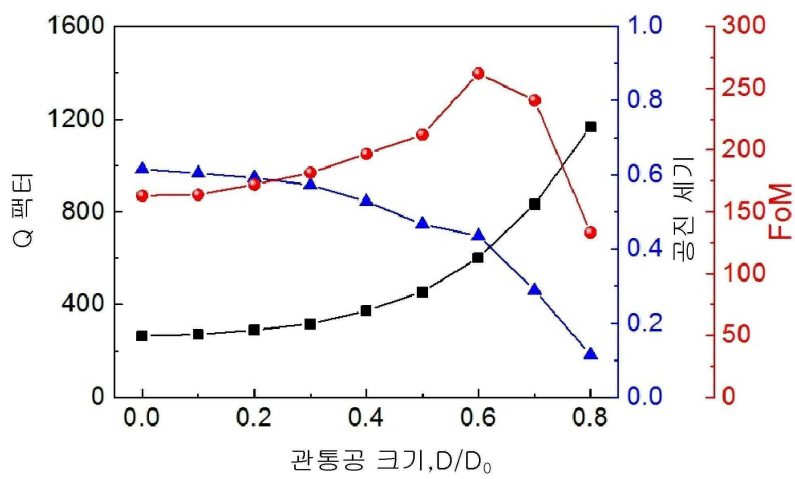
도면1



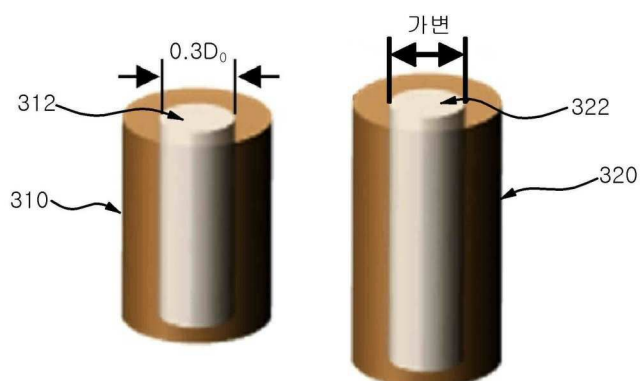
도면2a



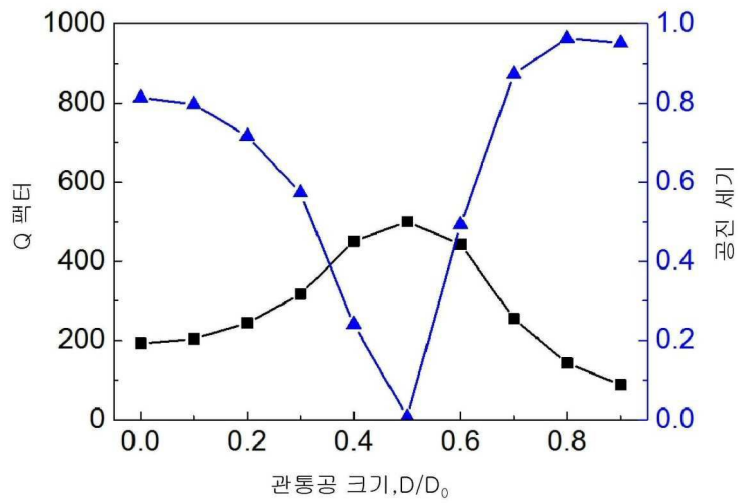
도면2b



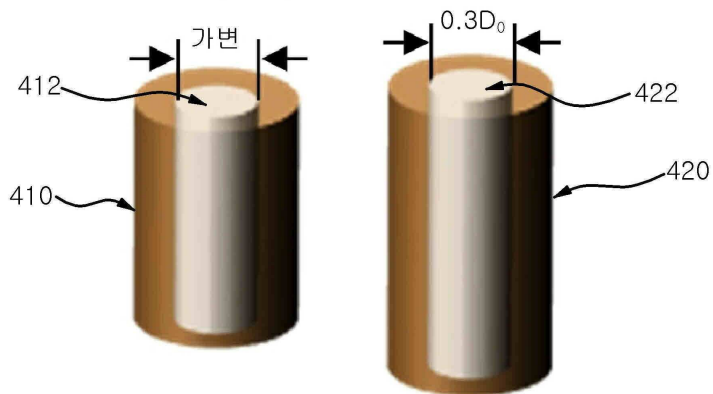
도면3a



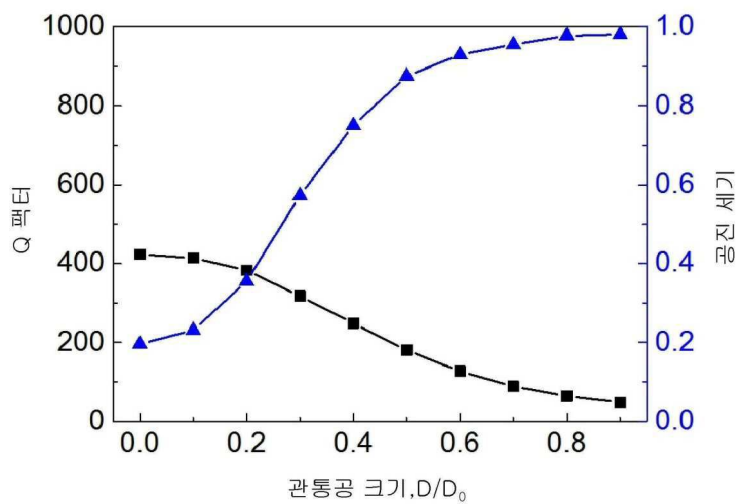
도면3b



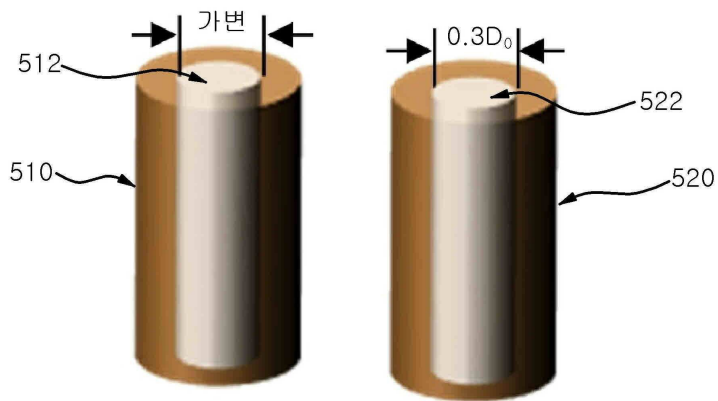
도면4a



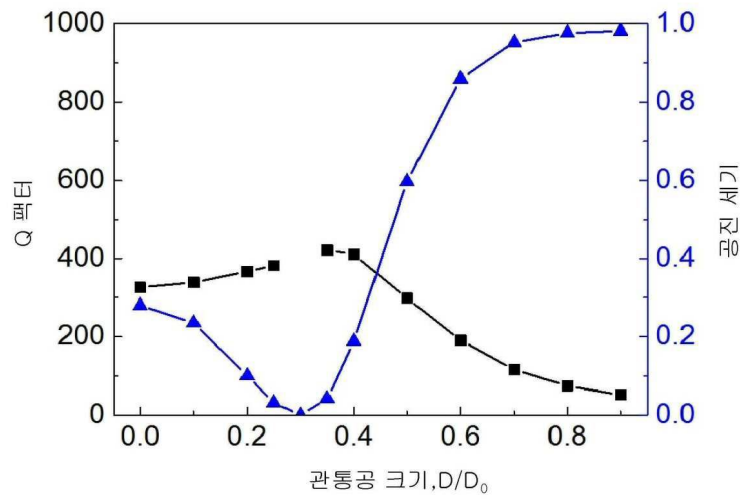
도면4b



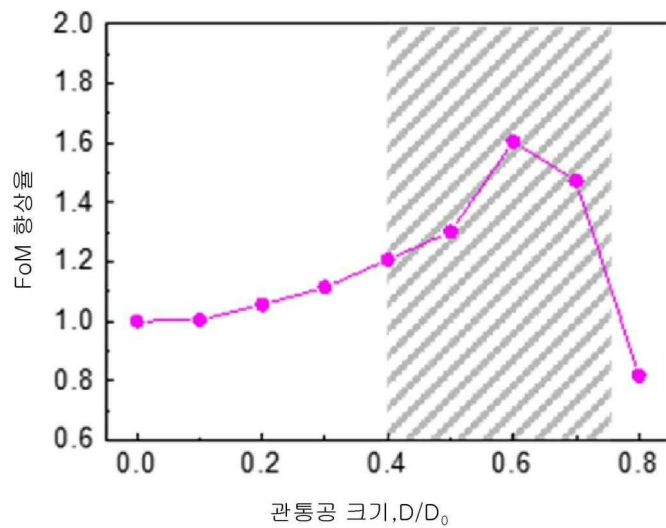
도면5a



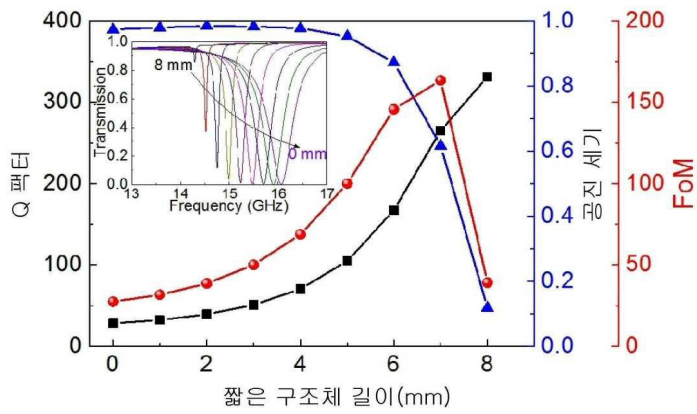
도면5b



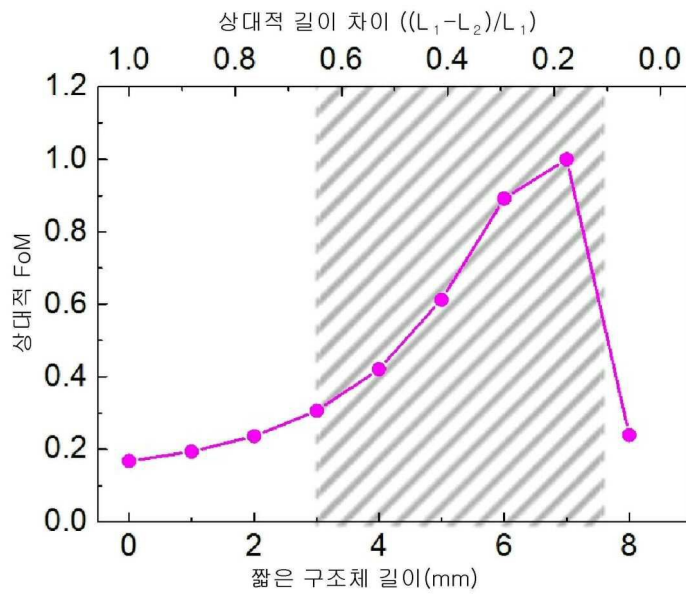
도면6



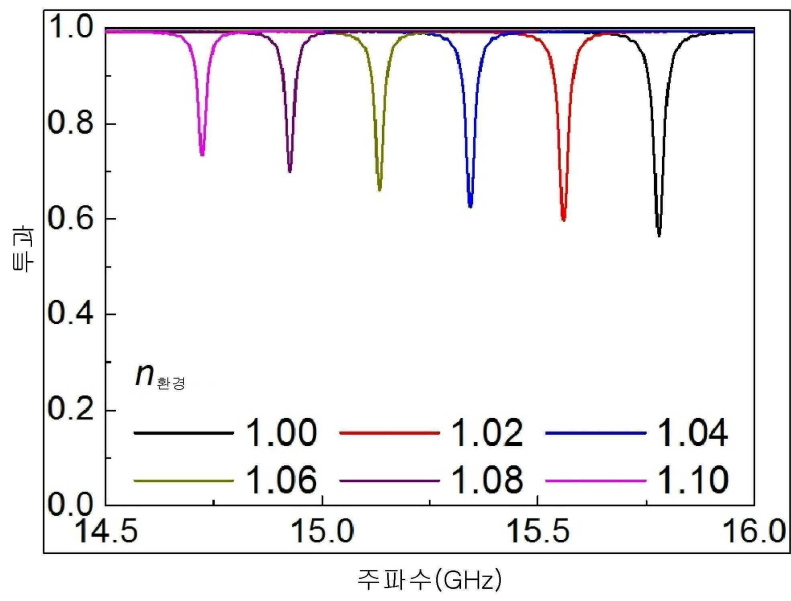
도면7a



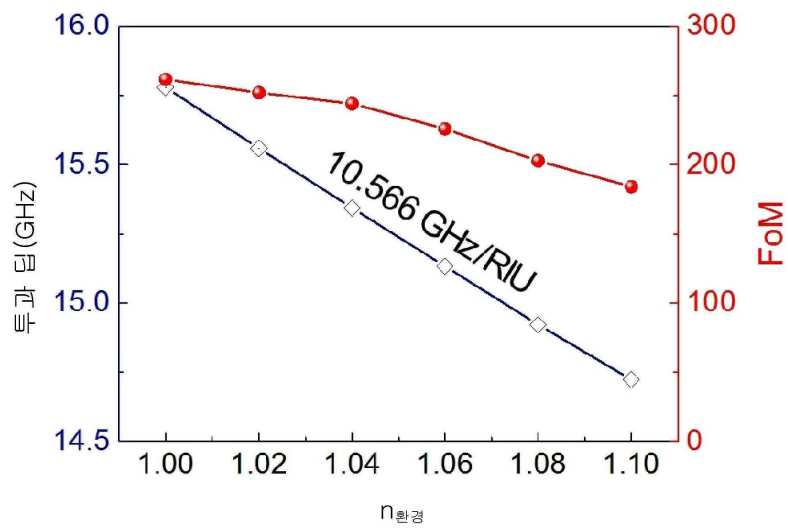
도면7b



도면8a



도면8b



도면9

