



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2014년08월01일  
 (11) 등록번호 10-1424987  
 (24) 등록일자 2014년07월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 G01N 21/31 (2006.01) G01N 37/00 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0139648  
 (22) 출원일자 2012년12월04일  
 심사청구일자 2012년12월04일  
 (65) 공개번호 10-2014-0071731  
 (43) 공개일자 2014년06월12일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR1020110060764 A  
 US20120086463 A1  
 KR1020080102205 A  
 KR101063231 B1

(73) 특허권자  
 한국기계연구원  
 대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)  
 (72) 발명자  
 송경준  
 광주광역시 서구 엄화로45번길 17, 105동 1403호  
 (화정동, 라인동산아파트)  
 임현의  
 대전광역시 서구 둔산로 155, 106-206 (둔산동,  
 크로바아파트)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
 김종관, 박창희, 권오식

전체 청구항 수 : 총 4 항

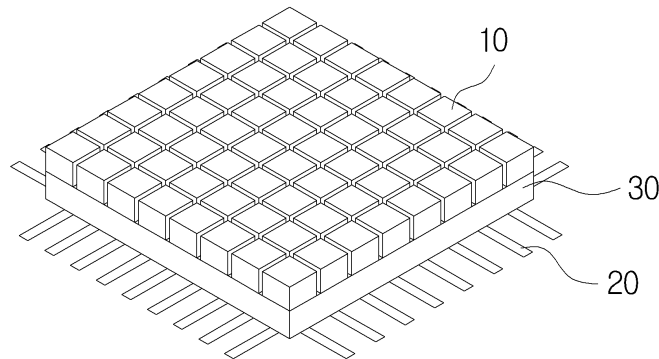
심사관 : 차영란

(54) 발명의 명칭 **메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼 및 이를 이용한 라벨 프리 센서**

**(57) 요약**

본 발명에 따른 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(metallic patch element); 다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트(metallic wire element); 및 상기 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트와 상기 다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트의 사이에 위치하는 다이일렉트릭 서브스트레이트(dielectric substrate)를 포함하는 것을 특징으로 한다. 그 결과, 본 발명에 따른 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 센싱 플랫폼 위의 물질이 달라졌을 때 공명주파수의 변화가 크고 대역폭이 좁아지도록 설계하는 것이 용이하다. 또는 본 발명에 따른 센싱 플랫폼을 포함하는 라벨 프리 센서는 검사 성능이 우수하다.

**대표도** - 도7



(72) 발명자

**김완두**

대전광역시 서구 둔산남로 127, 104동 1203호 (둔산동, 목련아파트)

**허신**

대전광역시 유성구 지족로 362, 306-602 (지족동, 반석마을아파트)

**이준희**

대전광역시 유성구 가정로 63, 108동 803호 (신성동, 럭키하나아파트)

**박수아**

대전광역시 유성구 가정북로 156, 한국기계연구원 메카동(연구13동) 317호 (장동)

**정영도**

서울특별시 관악구 관악로30길 40, 104동 1007호 (행운동, 우성아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NK169B

부처명 지식경제부

연구사업명 주요사업

연구과제명 자연모사 복합구조 설계 및 유연촉각소자 기술 개발 (1/3)

기 여 율 1/1

주관기관 한국기계연구원

연구기간 2012.01.01 ~ 2012.12.31

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10);

다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트(20); 및

상기 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10)와 상기 다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)의 사이에 위치하는 다이일렉트릭 서브스트레이트(30);

를 포함하고

상기 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10) 사이에는 검사 대상 물질이 분자 수준으로 바인딩될 수 있는 틈이 존재하고,

상기 틈에 검사 대상 물질이 분자 수준으로 바인딩되면 커패시턴스 용량이 변화하여 공명주파수가 달라지는 것을 특징으로 하는 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼.

### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10)와 상기 다수의 와이어 엘리먼트(20)는 정사각형 형상을 이루는 것을 특징으로 하는 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼.

### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10)와 상기 다수의 와이어 엘리먼트(20)는 정육각형 형상을 이루는 것을 특징으로 하는 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼.

### 청구항 4

제 1항의 센싱 플랫폼을 포함하는 라벨 프리 센서.

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 발명은 메타머티리얼(metamaterial)을 이용한 센싱 플랫폼(sensing platform) 및 이를 이용한 라벨 프리 센서(label-free sensor)에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 DNA 혹은 케미컬 분자(chemical molecule)를 검출하기 위한 센싱 플랫폼 및 이를 이용한 라벨 프리 센서에 관한 것이다.

### 배경기술

[0002] 메타머티리얼이란 빛 또는 전자기파의 파장보다 작은 구조들이 반복적으로 형성된 구조체를 의미한다.

[0003] 이러한 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 라벨 프리 센서에 이용될 수 있다. 라벨 프리 센서는 DNA 또는 케미컬 분자를 검출할 수 있는 장치이다. 도 1은 라벨 프리 센서의 개념도이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 라벨 프리 센서는 전자기파 발생장치(1), 전자기파 검출장치(2), 센싱 플랫폼(3)을 포함한다. 센싱 플랫폼(3) 위에 검사하려는 물질을 올려놓고 전자기파 발생장치(1)에서 입사 전자기파(A)를 발생시키면, 센싱 플랫폼(3) 위에

있는 물질에 따라 투과 전자기파(B)가 달라지고 그 투과 전자기파(B)는 전자기파 검출장치(2)에 의해 검출된다.

[0004] 도 2는 종래의 센싱 플랫폼의 평면도이다. 종래의 센싱 플랫폼은 도 2에 도시된 바와 같이, 표면에 다수의 SRR(Split-ring resonator)의 배열(array)이 형성되어 있다. 도 3은 종래의 센싱 플랫폼의 단위 셀의 확대도이다. 하나의 SRR, 즉 단위 셀(4)의 모양은 도 3에 도시된 바와 같이, 2개의 원형 도선이 하나의 점을 중심으로 형성되어 있다. 이때 SRR 배열의 단위 셀은 전자기파의 파장보다 매우 작으므로 SRR 배열은 메타 머티리얼이라 할 수 있다. 전자기파는 메타 머티리얼을 투과할 수 있는데, 메타 머티리얼의 임피던스(impedance)에 따라 투과율이 달라진다.

[0005] 도 4는 종래의 단위 셀의 임피던스를 모델링한 도면이다. 이 때 단위 셀(SRR)은 도 4에 도시된 바와 같이, C와 L이 직렬 연결된 것으로 모델링될 수 있다. 또 입사 전자기파(A)의 에너지가 1일 때, 투과 전자기파(B)의 에너지는 다음의 수학적 식 1과 같이 표현될 수 있다.

**수학적 식 1**

[0006] 
$$P_T = \left| \frac{2Z}{2Z + Z_0} \right|^2 = \left| \frac{2}{2 + Z_0 \left( \frac{j\omega C}{1 - \omega^2 LC} \right)} \right|^2$$

[0007] 단,  $Z = j\omega C + j\omega L$

[0008] 도 5는 종래의 센싱 플랫폼의 투과계수(transmission coefficient)이고, 공진주파수  $\omega_0$  에서 투과계수가 최소가 된다.

[0009] 센싱 플랫폼(3) 위에 있는 물질이 달라지면, SRR의 C값 등이 달라지고 공진주파수  $\omega_0$  가 달라진다. 도 6은 공진주파수가 변화된 모습이다. 공진주파수의 변화량( $\Delta \omega_0$ )으로 센싱 플랫폼(3) 위에 있는 물질을 검출할 수 있다.

[0010] 종래의 SRR을 이용한 센싱 플랫폼과 관련된 기술은 ‘특허문헌 1’, ‘특허문헌 2’, ‘비특허문헌 1’에 개시되어 있다. 특허문헌 1에는 메타머티리얼 파티클(metamaterial particle)로 이용되는 SRR에 대해 기재되어 있고, 특허문헌 2에는 SRR을 이용한 센싱 플랫폼과 유사한 구성이 기재되어 있고, 비특허문헌 1에는 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼이 기재되어 있다.

[0011] 이상적인 라벨 프리 센서가 되기 위해서는 센싱 플랫폼(3) 위의 물질이 달라졌을 때 공명주파수의 변화가 커야 하고, 또한 대역폭이 좁아야 한다.

[0012] 그러나 종래의 센싱 플랫폼은 C, L 등의 값을 변경하는 것이 용이하지 않았고, 특히 대역폭이 좁아지도록 설계하는 것이 용이하지 않았다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

- [0013] (특허문헌 0001) US 2012/0086463 A1 2012. 04. 12.  
 (특허문헌 0002) KR 10-2008-0102205 A 2008. 11. 24.

**비특허문헌**

- [0014] (비특허문헌 0001) H. Tao, L. R. Chieffo, M. A. Brenckle, S. M. Siebert, M. K. Liu, A. C.

Strikwerda, K. B. Fan, D. L. Kaplan, X. Zhang, R. D. Averitt, and F. G. Omenetto, "Metamaterials on Paper as a Sensing Platform," *Advanced Materials*, vol. 23, pp. 3197-3201, Jul 2011.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0015] 본 발명은 위와 같은 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명에서 해결하려는 과제는 센싱 플랫폼 위의 물질이 달라졌을 때 공명주파수의 변화가 크고 대역폭이 좁은 센싱 플랫폼 및 이를 이용한 라벨 프리 센서를 제공하는데 있다.

**과제의 해결 수단**

[0016] 위와 같은 과제를 해결하려는 본 발명에 따른 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(metallic patch element); 다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트(metallic wire element); 및 상기 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트와 상기 다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트의 사이에 위치하는 다이일렉트릭 서브스트레이트(dielectric substrate)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

**발명의 효과**

[0017] 본 발명에 따른 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 센싱 플랫폼 위의 물질이 달라졌을 때 공명주파수의 변화가 크고 대역폭이 좁아지도록 설계하는 것이 용이하다.

**도면의 간단한 설명**

- [0018] 도 1은 라벨 프리 센서의 개념도
- 도 2는 종래의 센싱 플랫폼의 평면도
- 도 3은 종래의 센싱 플랫폼의 단위 셀의 확대도
- 도 4는 종래의 단위 셀의 임피던스를 모델링한 모습
- 도 5는 종래의 센싱 플랫폼의 투과계수
- 도 6은 공진주파수가 변화된 모습
- 도 7은 본 발명의 의한 센싱 플랫폼의 사시도
- 도 8은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 측면도
- 도 9는 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 메탈릭 패치 엘리먼트의 평면도
- 도 10은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 메탈릭 와이어 엘리먼트의 평면도
- 도 11은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 임피던스를 모델링한 모습
- 도 12는 메탈릭 와이어 엘리먼트 사이에 분자 결합이 된 모습
- 도 13은 분자 결합이 된 때의 임피던스 변화를 모델링한 모습
- 도 14는 분자 결합이 된 때의 투과도 변화를 도시한 모습
- 도 15는 3가지의 센싱 아키텍처에서의 투과도를 비교한 모습
- 도 16은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 메탈릭 패치 엘리먼트와 메탈릭 와이어 엘리먼트가 정육각형으로 형성된 모습

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0019] 아래에서는 본 발명에 따른 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼 및 이를 이용한 라벨 프리 센서를 첨부된 도면을 통해 더욱 상세히 설명한다.
- [0020] 도 7은 본 발명의 의한 센싱 플랫폼의 사시도이다. 상부에는 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10)가 위치하고, 하부에는 다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)가 위치하며, 상기 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10)와 상기 다수의 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)의 사이에 다이일렉트릭 서브스트레이트(30)가 위치한다. 이때 메탈릭 패치 엘리먼트(10)는 커패시티브 엘리먼트(Capacitive Element)의 역할을 하고, 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)는 인덕티브 엘리먼트(Inductive Element)의 역할을 한다. 그리고 메탈릭 패치 엘리먼트(10)와 상기 와이어 엘리먼트(20)의 사이에 위치하는 다이일렉트릭 서브스트레이트(30)는 유전율  $n$ 을 가지는 유전체이다.
- [0021] 도 8은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀(unit cell)의 측면도이고, 도 9는 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 메탈릭 패치 엘리먼트의 평면도이고, 도 10은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 메탈릭 와이어 엘리먼트의 평면도이다.
- [0022] 메탈릭 패치 엘리먼트(10) 사이의 간격은  $g$  이고, 메탈릭 패치 엘리먼트(10)의 두께는  $t_1$  이고, 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)의 두께는  $t_2$  이고, 다이일렉트릭 서브스트레이트(30)의 두께는  $t$  이다. 또 메탈릭 패치 엘리먼트(10)의 단위 셀의 거리는  $D_1$  이고, 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)의 단위 셀의 거리는  $D_2$  이다. 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)의 폭은  $w$  로 표시될 수 있는데, 단위 셀에서의 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)의 폭은  $w/2$  로 표시된다.
- [0023] 여기서  $D_1$  과  $D_2$  가 전자기파의 파장  $\lambda$  보다 매우 작은 값이어서, 본 발명에 의한 다수의 메탈릭 패치 엘리먼트(10)와 메탈릭 와이어 엘리먼트(20)는 메타머티리얼에 해당하고, 입사되는 전자기파는 본 발명에 의한 센싱 플랫폼을 통과할 수 있게 된다.
- [0024] 도 11은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 임피던스를 모델링한 모습이다. 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 임피던스  $Z_1$  은 C와 L의 병렬 연결로 모델링 될 수 있다.
- [0025] 도 12는 메탈릭 패치 엘리먼트 사이에 분자 결합이 된 모습이고, 도 13은 분자 결합이 된 때의 임피던스 변화를 모델링한 모습이고, 도 14는 분자 결합이 된 때의 투과도 변화를 도시한 모습이다.
- [0026] 본 발명에 의한 센싱 플랫폼 위에 검사하려는 물질을 올려놓으면 그 물질이 메탈릭 패치 엘리먼트(10)의 틈으로 들어가서 분자 결합(molecular binding)된다. 분자 결합이 된 부분(40)의 물질이 달라지면 C의 용량의 변화에 따른 공진주파수가 달라진다..
- [0027] 분자 결합이 된 때의 투과도는 도 14에 도시된 바와 같이 변화하므로, 주파수의 따른 투과도를 측정하면 측정하려는 물질의 굴절률  $n$ 을 알 수 있게 되고, 그 물질의 굴절률  $n$ 을 알게 되면, 그 물질이 무엇인지 알 수 있게 된다.
- [0028] 도 15는 3가지의 센싱 아키텍처에서의 투과도를 비교한 모습이다. 도 15의 (a), (b), (c)에서 보듯이, 본 발명에 따른 의한 센싱 플랫폼의 단위 셀의 구조를 달리 하면, 공진주파수와 대역폭이 변화함을 알 수 있다. 여기서  $\theta$ 는 전자기파 입사각이며,  $\phi$ 는 전자기파 편광각이다. 또 (a)에서  $D_1 = 5 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 5 \text{ mm}$ ,  $w/2 = 0.1 \text{ mm}$ ,  $t = 0.5 \text{ mm}$   $t_1 = 0.2 \text{ mm}$   $t_2 = 0.2 \text{ mm}$ ,  $g = 0.2 \text{ mm}$ , 다이일렉트릭 서브스트레이트의 굴절률  $n = 3.4$  이다. (b)에서  $D_1 = 2.5 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 5 \text{ mm}$ ,  $w/2 = 0.1 \text{ mm}$ ,  $t = 0.5 \text{ mm}$   $t_1 = 0.2 \text{ mm}$   $t_2 = 0.2 \text{ mm}$ ,  $g = 0.2 \text{ mm}$ , 다이일렉트릭 서브스트레이트의 굴절률  $n = 3.4$  이다. (c)에서  $D_1 = 2.5 \text{ mm}$ ,  $D_2 = 5 \text{ mm}$ ,  $w = 0.2 \text{ mm}$ ,  $t = 0.5 \text{ mm}$   $t_1 = 0.2 \text{ mm}$   $t_2 = 0.2 \text{ mm}$ ,  $g = 0.2 \text{ mm}$ , 다이일렉트릭 서브스트레이트의 굴절률  $n = 3.4$  이다.
- [0029] 즉 본 발명에 따른 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 패치 엘리먼트와 와이어 엘리먼트의 단위 셀 구조의 다양한 조합을 통해 공진 주파수와 대역폭을 용이하게 변경할 수 있다.

[0030] 도 16은 본 발명에 의한 센싱 플랫폼의 메탈릭 패치 엘리먼트와 메탈릭 와이어 엘리먼트가 정육각형으로 형성된 모습이다. 본 발명에 따른 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 단위 셀의 구조를 정사각형으로 하지 않고 다양한 형태로 변형할 수 있으며, 도 16에 도시된 바와 같이 정육각형으로 할 수도 있다. 도 16의 (a)는 정육각형으로 형성된 메탈릭 패치 엘리먼트의 모습이고, 도 16의 (b)는 정육각형으로 형성된 메탈릭 와이어 엘리먼트의 모습이다.

[0031] 단위 셀의 구조를 정사각형으로 한 경우 제조가 유리한 장점이 있지만, EM 편광(polarization)의 영향을 받을 수 있는 문제점이 있다. 단위 셀의 구조를 정육각형으로 한 경우 제조가 어려운 단점이 있지만, EM 편광의 영향을 줄일 수 있는 장점이 있다.

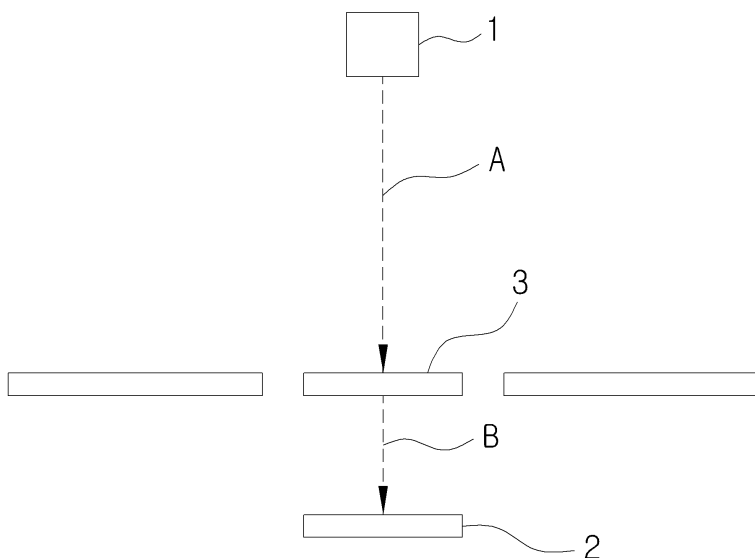
[0032] 본 발명에 의한 메타머티리얼을 이용한 센싱 플랫폼은 대역폭이 좁아지도록 설계할 수 있으므로, 본 발명에 의한 라벨 프리 센서, 즉 본 발명에 의한 센싱 플랫폼을 포함하는 라벨 프리 센서는 검사하는 물질이 무엇이든 정확하게 판단할 수 있어서 검사 성능이 우수하다.

**부호의 설명**

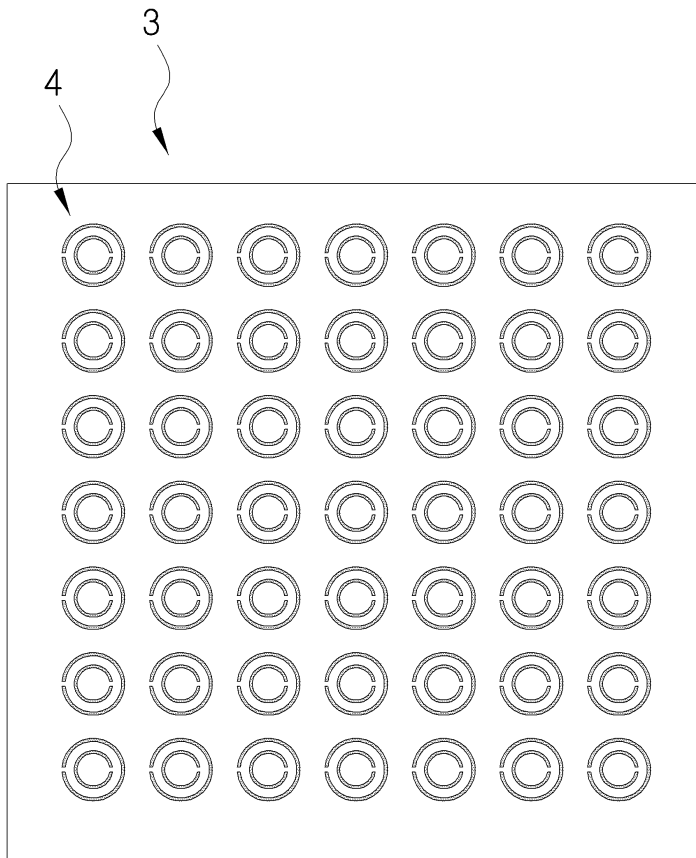
- [0033] 10: 메탈릭 패치 엘리먼트
- 20: 메탈릭 와이어 엘리먼트
- 30: 다이일렉트릭 서브스트레이트
- 40: 분자 결합이 된 부분

**도면**

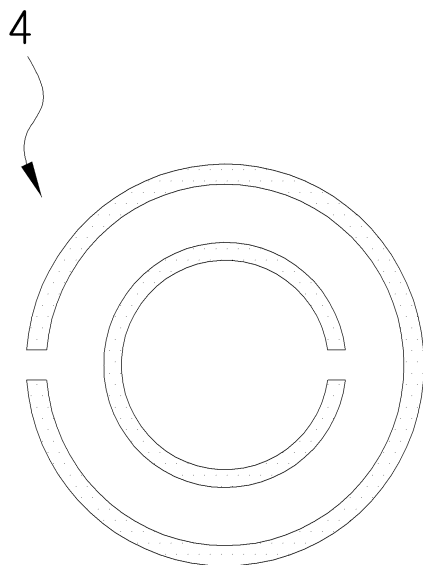
**도면1**



도면2

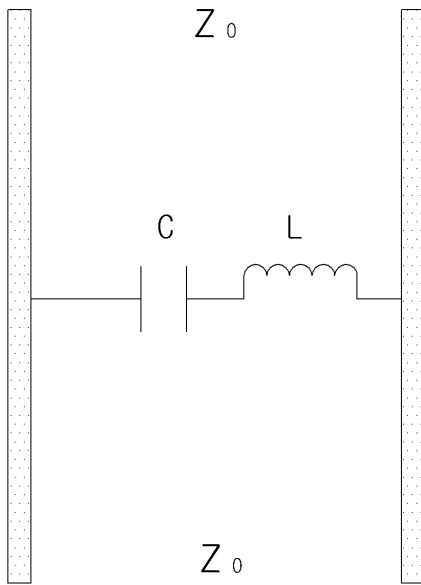


도면3

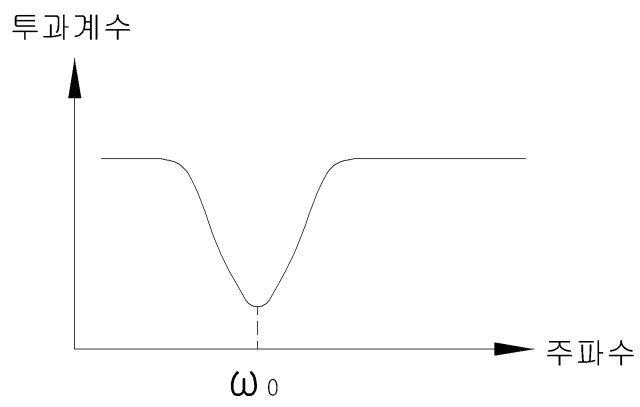




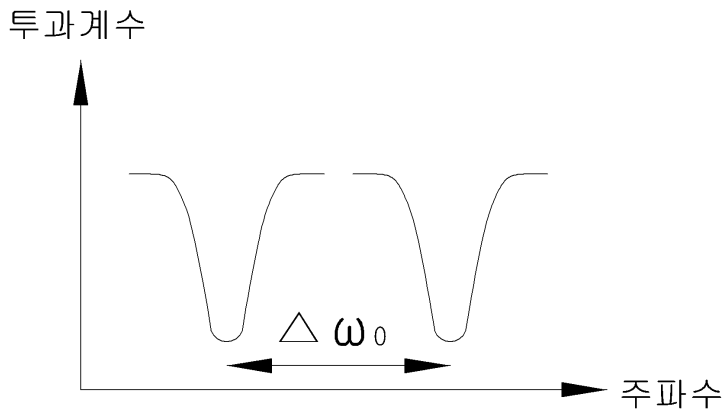
도면4



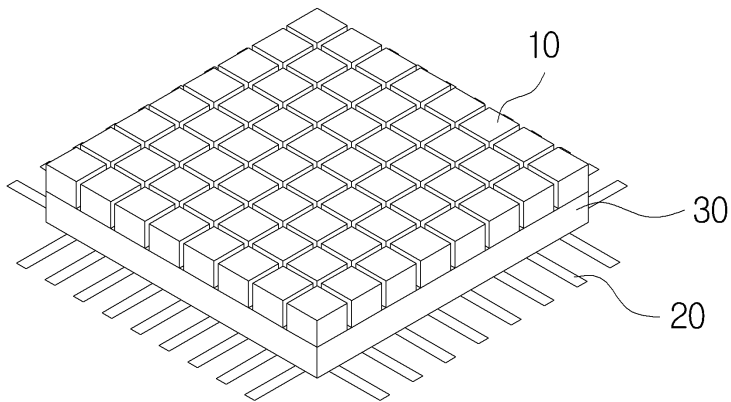
도면5



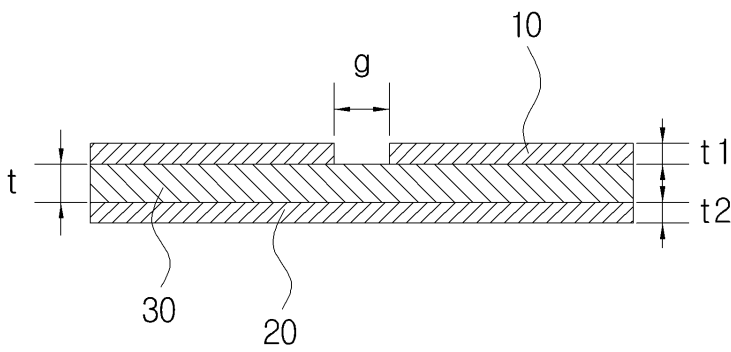
도면6



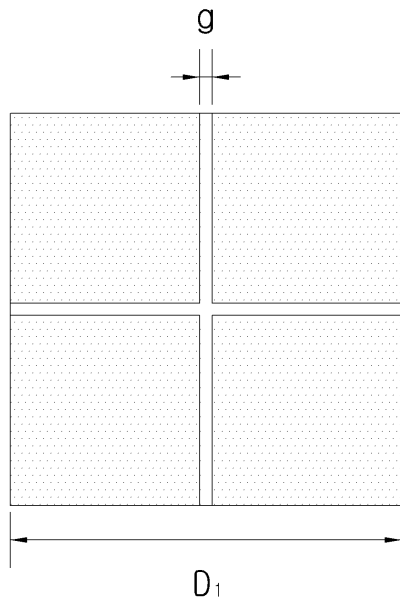
도면7



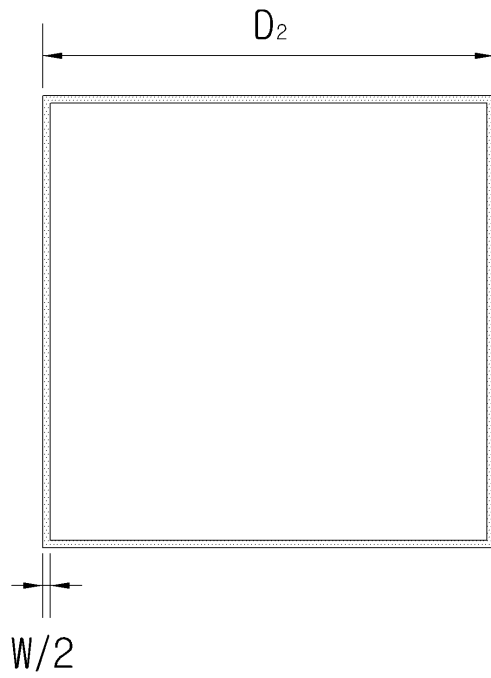
도면8



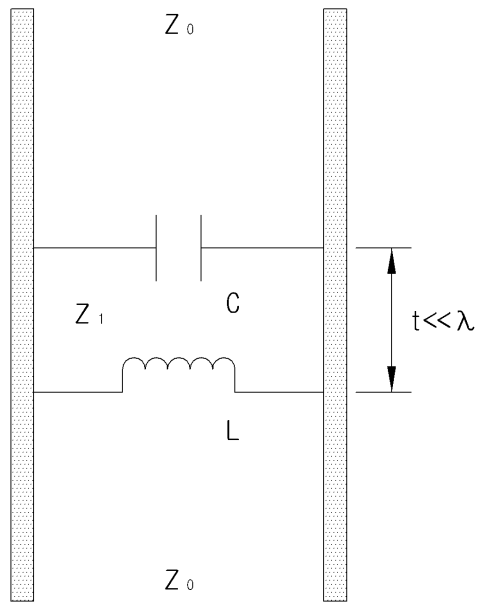
도면9



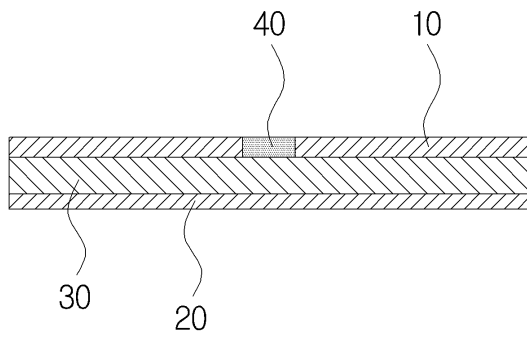
도면10



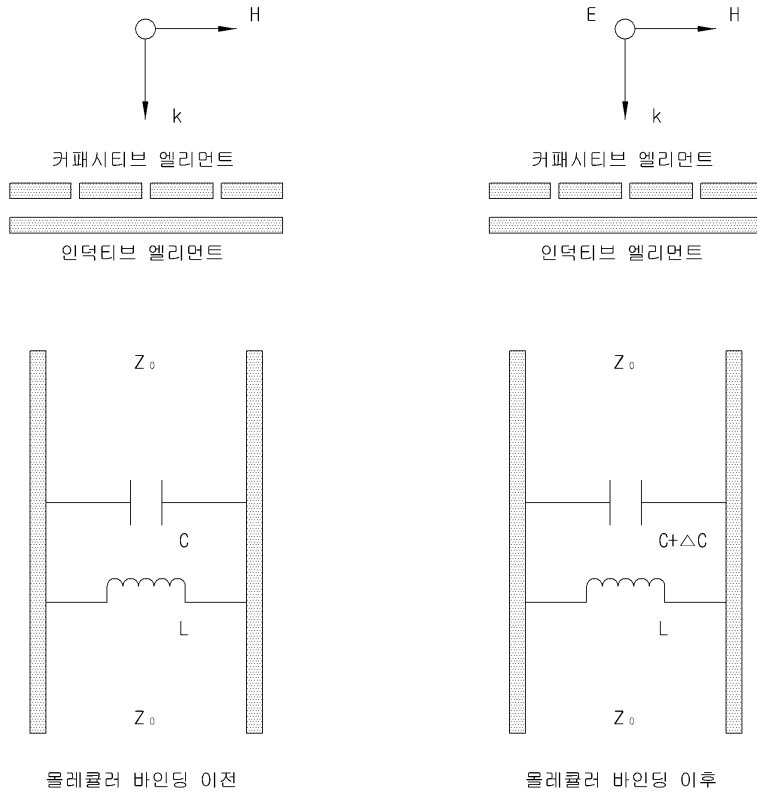
도면11



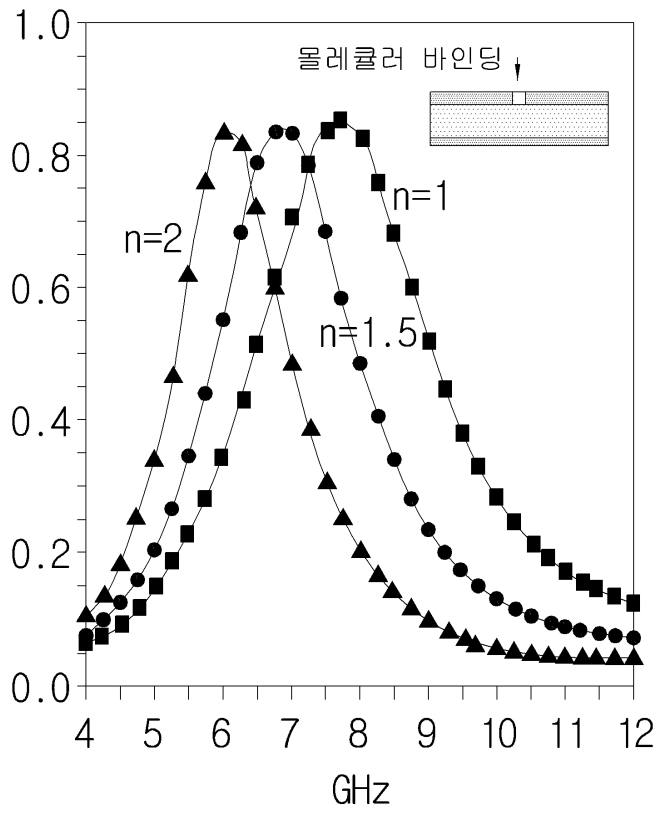
도면12



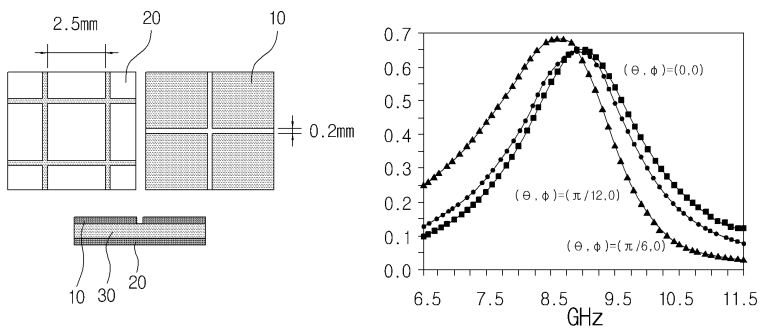
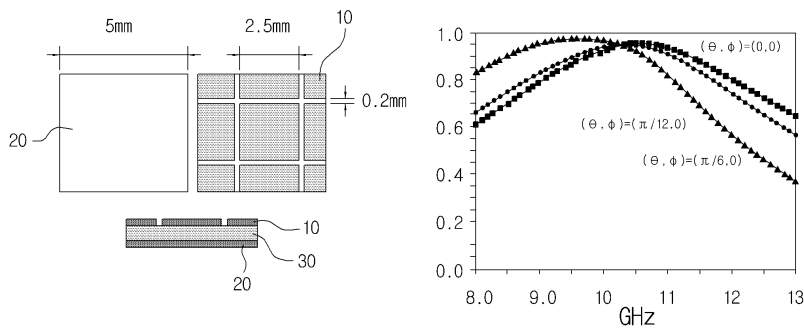
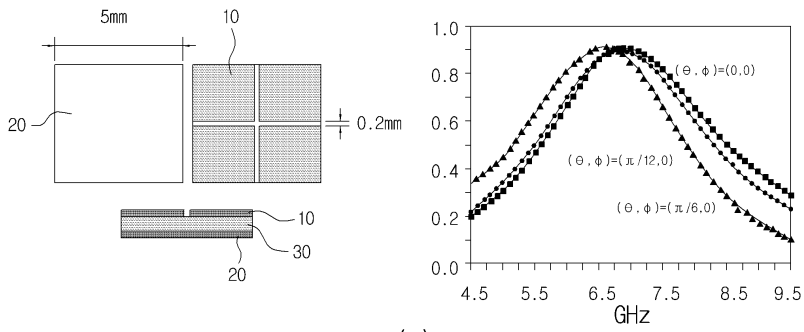
도면13



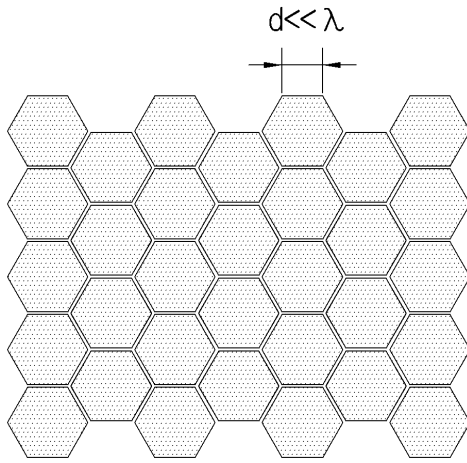
도면14



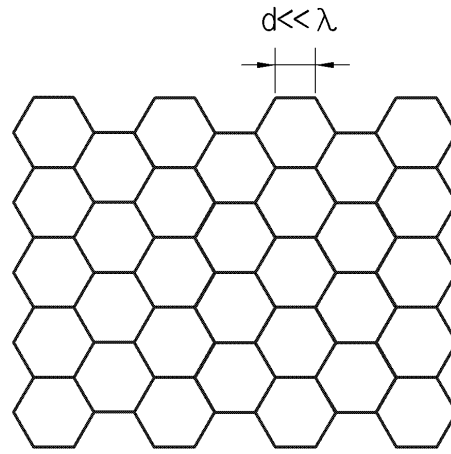
도면15



도면16



(a) 메탈릭 패치 엘리먼트



(b) 메탈릭 와이어 엘리먼트