



(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.  
G02F 1/00 (2006.01)  
H01Q 15/00 (2006.01)

(11) 공개번호 10-2007-0086427  
(43) 공개일자 2007년08월27일

(21) 출원번호 10-2007-7013892  
(22) 출원일자 2007년06월19일  
심사청구일자 2007년06월19일  
번역문 제출일자 2007년06월19일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2005/041857 (87) 국제공개번호 WO 2006/055798  
국제출원일자 2005년11월18일 국제공개일자 2006년05월26일

(30) 우선권주장 10/993,616 2004년11월19일 미국(US)

(71) 출원인 휴렛-팩커드 디벨롭먼트 컴퍼니, 엘 피  
미국 텍사스주 77070 휴스턴 스테이트 하이웨이 249 20555

(72) 발명자 케크스 필립 제이  
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 페이지 밀 로드 1501  
왕 시-유안  
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 페이지 밀 로드 1501  
뷰슬레일 레이몬드 지  
미국 워싱턴주 98052 레드몬드 175번 플레이스 엔이 13837  
브라트코브스키 알렉산드르 엠  
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 페이지 밀 로드 1501  
우 웨이  
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 페이지 밀 로드 1501  
아이슬램 엠 사이폴  
미국 캘리포니아주 94304 팔로 알토 페이지 밀 로드 1501

(74) 대리인 김창세  
김원준

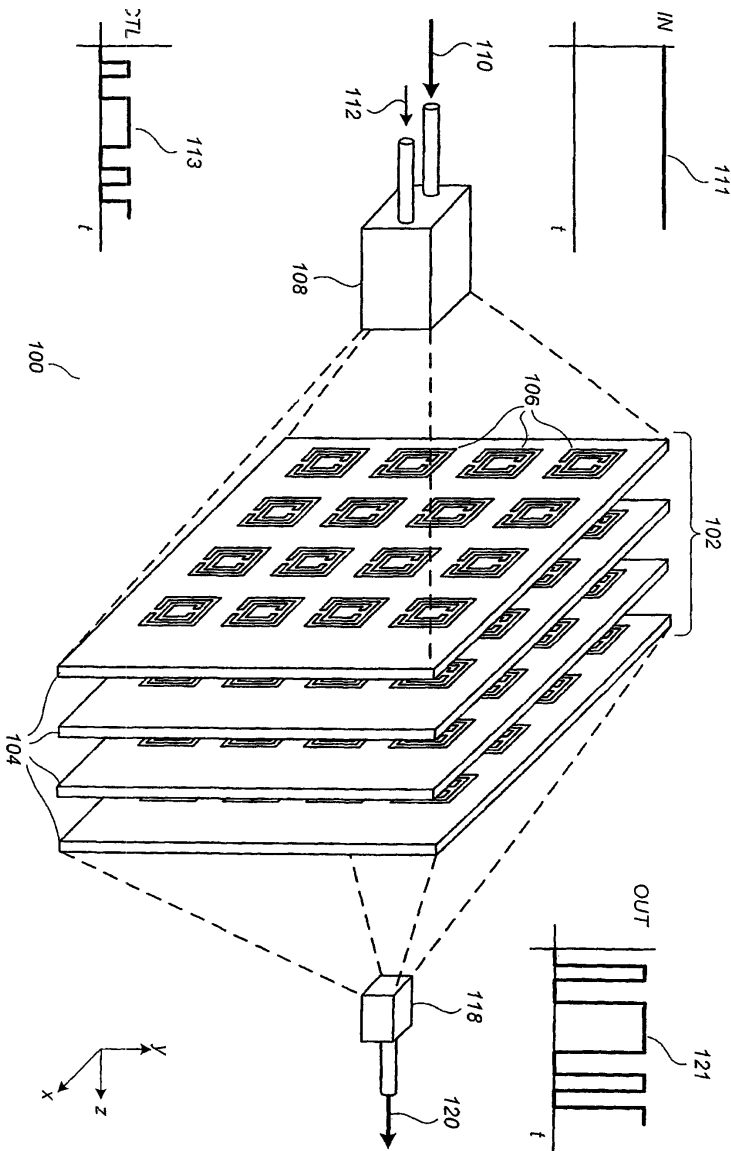
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 입사 전자기 방사의 전파 제어 방법 및 장치와 결합 장치

(57) 요약

입사 전자기 방사(110)의 전파를 제어하는 장치(100)가 제공되는데, 상기 장치는 입사 전자기 방사(110)의 파장에 대해 작은 치수를 갖는 전자기적 반응성의 셸(106)을 구비한 복합 재료(102)를 포함한다. 전자기적 반응성의 셸(106) 중 적어도 하나의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나는 시간적으로 제어가능하여 복합 재료(102)를 통과하여 전파하는 동안 입사 전자기 방사(110)가 겪게 되는 연관된 유효 굴절률을 시간적으로 제어할 수 있다.

대표도



**특허청구의 범위**

**청구항 1.**

입사 전자기 방사(110)의 전파를 제어하는 방법에 있어서,

상기 입사 전자기 방사(110)의 경로에 복합 재료(composite material)(102)를 배치하는 단계- 상기 복합 재료(102)는 상기 입사 전자기 방사(110)의 파장에 대해 작은 치수를 갖는 공진 셀(106)을 포함함 -와,

상기 복합 재료(102)를 통과하여 전파하는 동안 상기 입사 전자기 방사(110)가 겪게되는 연관된 유효 굴절률을 시간적으로(temporally) 제어하도록 상기 공진 셀(106) 중 적어도 하나의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나를 시간적으로 제어하는 단계

를 포함하는 입사 전자기 방사의 전파 제어 방법.

**청구항 2.**

제 1 항에 있어서,

상기 공진 셀(106) 각각은 적어도 하나의 전기적 도전체(410,412) 및 기판(404,406,408)을 포함하고, 상기 시간적 제어 단계는 상기 기판 내의 캐리어 수(carrier population)를 제어하는 단계를 포함하는

입사 전자기 방사의 전파 제어 방법.

### 청구항 3.

제 2 항에 있어서,

상기 기판은 밴드갭 에너지를 갖는 반도체 물질(404)을 포함하고, 상기 입사 전자기 방사(110)의 상기 파장은 상기 밴드갭 에너지에 대응하는 밴드갭 방사 주파수 아래의 제 1 주파수에 대응하며, 상기 캐리어 수 제어 단계는 상기 밴드갭 방사 주파수 또는 그 위의 제 2 주파수에서 제어 방사(112)를 상기 공진 셀(106) 내로 도입하는 단계를 포함하는

입사 전자기 방사의 전파 제어 방법.

### 청구항 4.

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

신호 입력(108,100)에서 상기 복합 재료(102)를 통과하여 전파하는 상기 입사 전자기 방사(110)를 수신하는 단계와,

변조 입력(108,112)에서 상기 공진 셀(106) 내로 도입되는 상기 제어 방사(112)를 수신하는 단계와,

상기 복합 재료(102)를 통해 전파하는 경우 상기 변조 입력에 따라 수정된 상기 입사 전자기 방사에 의해 형성된 출력 신호(120)를 출력 장치(118)에서 수신하는 단계- 상기 출력 장치(118)는 상기 변조 입력에 따라 상기 입사 전자기 방사의 가변적인 비율(a variable percentage)을 수신하는 공간적으로 고정된 수신 표면을 포함하며, 그에 따라 광학 스위치, 광학 변조기, 광학 커플러 및 광학 트랜지스터 중 하나에 따른 기능이 달성됨 -를

더 포함하는 입사 전자기 방사의 전파 제어 방법.

### 청구항 5.

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 공진 셀(102)은 상기 입사 전자기 방사를 수신하는 표면(104)을 형성하고,

상기 전파 제어 방법은, 상기 제어 방사(112)를 변조 세기 패턴에 따라 상기 표면상으로 전달하는 단계를 더 포함하되, 상기 공진 셀은 상기 변조 세기 패턴에 따라 상기 입사 전자기 방사의 위상 정보를 공간적으로 변조하고,

상기 변조 세기 패턴은 (i) 실제 이미지 또는 (ii) 기준 빔과 객체 빔 간의 간섭 패턴 중 하나에 의해 형성되는데, 상기 기준 빔 및 상기 객체 빔 각각은 상기 제어 방사로부터 유도되며 상이한 각도로 상기 표면으로 향하는

입사 전자기 방사의 전파 제어 방법.

### 청구항 6.

전자기적 반응성 셀(106)을 포함하는 복합 재료(102)와,

상기 복합 재료(102)를 통해 전파하도록 입사 방사(110)를 상기 복합 재료(102)의 표면(104) 상에 인가(108)하는 수단-상기 입사 방사(110)는 상기 전자기적 반응성 셀(106) 각각의 크기보다 실질적으로 큰 파장을 가짐-과,

상기 복합 재료(102)를 통과하여 전파하는 동안 상기 입사 방사(110)가 겪게되는 연관된 유효 굴절률의 시간적 제어를 용이하게 하도록 상기 전자기적 반응성 셀 중 적어도 하나의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나를 시간적으로 (temporally) 제어(108,112)하는 수단을

포함하는 장치.

## 청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 전자기적 반응성 셀(106) 각각은 적어도 하나의 전기적 도전체(410,412)와 기관(404,406,408)을 포함하고, 상기 시간적 제어 수단은 상기 기관 내의 캐리어 수를 변조하는 장치.

## 청구항 8.

제 7 항에 있어서,

상기 기관은 밴드갭 에너지를 갖는 반도체 물질(404)을 포함하고, 상기 입사 전자기 방사의 상기 파장은 상기 밴드갭 에너지에 대응하는 밴드갭 방사 주파수 아래의 제 1 주파수에 대응하며, 상기 캐리어 수는 상기 밴드갭 방사 주파수 또는 그 위의 제 2 주파수에서 제어 방사(112)를 상기 공진 셀(106) 내로 도입함으로써 변조되는 장치.

## 청구항 9.

제 6 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 유효 굴절률은 0 미만의 제 1 값과 0 초과 1 이하의 제 2 값 사이에서 시간적으로 제어되는 장치.

## 청구항 10.

제 1 횡단 공간 모드 패턴(1102)을 갖는 소스 장치(1004)로부터 제 2 횡단 공간 모드 패턴(1202)을 갖는 목표 장치(1006)로 소스 방사를 결합하는 결합 장치(1002)에 있어서,

상기 소스 방사의 주파수에서 음의 유효 굴절률을 나타내는 공진 셀(106)을 구비한 복합 재료(102)를 포함하되,

상기 복합 재료는 상기 소스 장치(1004)로부터 상기 소스 방사를 수신하고, 상기 공진 셀의 유도성 및 용량성 특성 중 적어도 하나는 그들 사이에서 공간에 따라 변화되어 상기 소스 장치(1004)로부터 수신된 상기 소스 방사가 상기 목표 장치(1006)의 상기 제 2 횡단 공간 모드 패턴(1202) 상으로 이미징되도록 하는

결합 장치.

명세서

기술분야

본 발명은 일반적으로 광 변조, 광 스위칭, 또는 그 밖의 다른 유용한 목적을 위해 전자기 전파(electromagnetic propagation)를 제어하는 것에 관한 것이다.

## 배경기술

전자기 방사의 전파에 대한 시간적 제어를 위한 장치는 현대 기술 다수에 대한 기본적인 구조 블록을 나타낸다. 예를 들어 광 섬유로의 광섬유 통신 신호의 전파에 있어서 단일 공간 차원이 관련된 경우, 그러한 제어는 통상적으로 전파하는 광의 진폭에 영향을 주는 (예를 들어, OFF/ON) 장치에 의해 달성된다. 이러한 환경에서, 흔히 1차원 전기광학 변조기가 사용되며, 이 변조기는 전기광학 및/또는 자기광학 물질, 예를 들어 인가된 제어 신호에 응답하여 굴절률을 달리하는 방해석, 석영 및 리튬 니오브산염에 기반을 두는데, 상기 물질은 유도된 위상 변화를 간섭 효과를 통해 진폭 변화로 변환하는 MZI (March-Zehnder interferometers) 또는 유사 장치 내에 정렬된다. 다른 1차원 전기광학 변조기는 인가된 전기장에 따라 입사 신호를 다양하게 흡수하는 전기흡수 변조기와, 수정 또는 평면 도파관 내에서 진행되는 고주파 사운드를 사용하여 광을 일 장소에서 다른 장소로 편향시키는 음향파 변조기를 포함한다. 특히, 예를 들어 제한된 전력-처리 능력에 있어서, 상기 변조기는 각각 실질적인 대역폭 제한, 예를 들어 ON과 OFF 사이에서 출력 신호를 변경할 수 있는 속도에 대한 실제적인 제한을 갖는다. 예를 들어, 다수의 상기 전기광학/자기광학 효과 변조기, 및 다수의 상기 전기흡수 변조기의 최대 비트 레이트는 10-40 GHz 정도이며, 다수의 음향파 변조기는 훨씬 더 낮은 최대 비트 레이트를 갖는다.

예를 들어, 촬영 시스템에서 전자기 파면의 전파가 제어되는 경우 두 개의 공간 차원이 관련되는 경우, 전파하는 방사의 시간적 제어를 위한 장치는 액정 기반 공간 광 변조기(SLM) 및 마이크로전기기계(MEM) 기반 SLM을 포함하며, 각 변조기는 일반적으로 전파하는 방사에 대해 픽셀식 진폭 또는 위상 변조를 제공한다. 특히, 이들 각각의 SLM 유형은 실질적인 대역폭 제한을 갖는다. 일부 액정 SLM는 전기 제어 신호보다는 광학 제어 신호를 사용할 수 있지만, 그럼에도 불구하고 픽셀 응답 시간은 마이크로세컨드(바이너리) 또는 밀리세컨드(아날로그) 정도이다. 소위 디지털 마이크로미러 장치(일 유형은 상업적으로 입수가능한 MEMs SLM임)에 대한 전형적인 응답 시간은 마이크로세컨드 정도이다. 전파하는 방사에 대한 1 또는 2차원 제어를 위한 상기 장치에 관련한 다른 쟁점은 전력 소모, 전력 처리 능력, 크기 및 환경적 사항을 포함한다.

전자기 방사의 전파에 대한 제어와 관련한 경우 중 특정한 하나의 경우는 펌프 레이저 광을 목표 장치에 결합하는 것이다. 이것은 다수의 경우, 예를 들어 반도체 다이오드 레이저로부터 펌프 광을 사용하여 EDFA(erbium-doped fiber amplifier)의 코어를 광학적으로 펌핑하는 경우 바람직한 목표가 될 수 있다. 반도체 다이오드 레이저의 손상없이 보다 높은 전력(예를 들어, 1와트 또는 그 이상)을 용이하게 하기 위해, 반도체 다이오드 레이저의 패시트(facet)는 흔히 비교적 크게 구성된다. 반도체 다이오드 레이저의 횡단 공간 모드(transverse spatial mode)는 꽤 불규칙적이게 될 수 있고, 광은 예를 들어 0.3-0.4 정도의 수치적 개구를 통해 방사될 수 있다. 그러나, EDFA 코어는 통상적으로 작은 원형 모드를 가지며 예를 들어 0.2 정도의 수치적 개구로만 광을 수신할 수 있다. 테이퍼링된 광섬유 및 원통형 렌즈를 사용하여 펌프 광을 EDFA 코어로 결합하는 것은 비교적 낮은 효율을 양산할 수 있다. 보다 일반적으로, 제 1 횡단 공간 모드 패턴을 갖는 소스 장치로부터 제 1 횡단 공간 모드 패턴과는 상당히 다를 수 있는 제 2 횡단 공간 모드 패턴을 갖는 목표 장치로 소스 방사를 결합하는 것이 바람직한 목표가 될 수 있다.

따라서, 상기 1차원 및 2차원 환경 중 적어도 하나와 관련하여, 상기 하나 이상의 쟁점들을 적어도 부분적으로 해결하도록 전자기 방사의 전파를 제어하는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 제어 성능에 기반을 둔 하나 이상의 유용한 장치를 제공하는 것이 또한 바람직할 수 있다.

## 발명의 상세한 설명

일 실시예에 따르면, 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 장치가 제공되는데, 상기 장치는 입사 전자기 방사의 파장에 대해 작은 치수를 갖는 전자기적 반응성 셀을 구비한 복합 재료(composite material)를 포함한다. 전자기적 반응성 셀 중 적어도 하나의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나는 시간적으로 제어가능하여 복합 재료를 통과하여 전파하는 동안 입사 전자기 방사가 겪게되는 연관된 유효 굴절률을 시간적으로 제어할 수 있다.

또한, 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 방법이 제공되는데, 상기 방법은 입사 전자기 방사의 경로에 복합 재료를 배치하는 단계를 포함하되, 상기 복합 재료는 파장에 대해 작은 치수를 갖는 공진 셀을 포함한다. 상기 방법은 공진 셀 중 적어도 하나의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나를 시간적으로 제어하여 복합 재료를 통과하여 전파하는 동안 입사 전자기 방사가 겪게되는 연관된 유효 굴절률을 시간적으로 제어하는 단계를 더 포함한다.

또한, 전자기적 반응성 셀을 포함하는 장치가 제공되는데, 상기 장치는 복합 재료를 통과하여 전파되도록 복합 재료의 표면 상에 입사 방사를 인가하는 수단을 더 포함한다. 입사 방사는 전자기적 반응성 셀의 각각의 크기보다 실질적으로 큰 파장을 갖는다. 장치는 전자기적 반응성의 셀 중 적어도 하나의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나를 시간적으로 제어하여 복합 재료를 통과하여 전파하는 동안 입사 전자기 방사가 겪게되는 연관된 유효 굴절률을 시간적으로 제어하는 것을 용이하게 한다.

또한, 신호 빔을 수신하는 신호 입력과, 제어 빔을 수신하는 제어 입력 및 신호 빔의 파장에 대해 작은 치수를 갖는 공진 셀을 포함하는 복합 재료를 포함하는 광학 트랜지스터가 제공된다. 복합 재료는 신호 입력으로부터 신호 빔을 수신하는 표면을 형성하고, 상기 표면은 또한 제어 입력으로부터 제어 빔을 수신한다. 공진 셀의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나는 제어 빔에 의해 제어되어 표면 양단에 걸쳐 복합 재료의 유효 굴절률을 제어한다. 출력 신호는 제어 빔에 의해 제어되는 공진 셀을 통과하여 전파되는 경우 신호 빔에 의해 형성된다.

또한, 제 1 횡단 공간 모드 패턴을 갖는 소스 장치로부터 제 2 횡단 공간 모드 패턴을 갖는 목표 장치로 소스 방사를 결합하는 결합 장치가 제공된다. 결합 장치는 소스 방사의 주파수에서 음의 유효 굴절률을 나타내는 공진 셀을 구비한 복합 재료를 포함하고, 상기 복합 재료는 소스 장치로부터 소스 방사를 수신한다. 공진 셀의 유도성 및 용량성 특성 중 적어도 하나는 그들 사이에서 공간에 따라 변화되어 소스 장치로부터 수신된 소스 방사가 목표 장치의 제 2 횡단 공간 모드 패턴 상으로 이미지화되도록 한다.

또한, 제 1 횡단 공간 모드 패턴을 갖는 소스 장치로부터 제 2 횡단 공간 모드 패턴을 갖는 목표 장치로 소스 방사를 결합하는 방법이 제공된다. 복합 재료가 소스 방사의 경로에 배치되고, 상기 복합 재료는 소스 방사의 주파수에서 음의 유효 굴절률을 나타내는 공진 셀을 구비한다. 공진 셀의 유도성 및 용량성 특성 중 적어도 하나는 그들 사이에서 공간에 따라 변화되어 소스 장치로부터 수신된 소스 방사가 목표 장치의 제 2 횡단 공간 모드 패턴 상으로 이미지화되도록 한다.

## 실시예

도 1은 일 실시예에 따른 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 장치(100)를 나타낸다. 장치(100)는 하나 이상의 기관 상에 형성된 전자기적 반응성 또는 공진 셀(106)의 구성을 포함하여 평면 어레이(104)를 형성하는 복합 재료(102)를 포함한다. 장치(100)는 신호 빔(110)의 형태를 갖는 입사 전자기 방사를 수신하고, 또한 제어 빔(112) 형태를 갖는 제어 방사를 수신하는 입력 광 시스템(108)을 더 포함한다. 도 1의 실시예에서, 신호 빔(110) 및 제어 빔(112)은 예를 들어 광섬유를 통해 입력 광 시스템(108)에 제공되는 광의 1차원 빔이다. 장치(100)는 복합 재료(102)를 통해 전파한 후 출력 빔(120)으로서 나타내는 입사 전자기 방사를 수신하는 출력 광 시스템(118)을 더 포함한다.

본 명세서에서는 광 신호(예를 들어, 적외선, 가시광선, 자외선)의 전파에 대해 기술하고 있지만, 본 발명의 범주는 광 신호에 제한되지 않고, 오히려 무선 주파수 방사 및 마이크로웨이브에서부터 x-선 방사에 이르기까지 복합 재료 내로 전해질 수 있고 수신될 수 있으며 또는 복합 재료를 통과한 전파 이후에 수집될 수 있는 임의의 유형의 전자기 방사를 포함할 수 있다. 특히, 방사가 한쪽 끝에서 복합 재료 내로 전파하고 다른쪽 끝에서 나타나는 것(예를 들어, 도면에서, 좌측에서 우측으로)과 관련하여 개시하고 있지만, 본 명세서에서 사용되는 전파는 또한 한쪽 끝에서 복합 재료 내로 전파하고 동일한 끝으로부터 나타나는 반사 경우도 나타낼 수 있다.

복합 재료(102)의 공진 셀(106)은 바람직하게 신호 빔(110)의 파장에 비해 작은 치수(예를 들어, 20 퍼센트 이하)를 갖는다. 달리 언급하지 않으면, 본 명세서에서 정해진 파장으로 특징지어지는 방사는 자유 공간 파장과 관련하여 표현되며, 그 방사의 주파수는 정해진 파장으로 분할되는 광의 자유 공간 속도와 동일하다. 입사 파면에 대한 임의의 특정 공진 셀(106)의 개별적 응답은 꽤 복잡할 수 있지만, 공진 셀(106)의 집합적 응답은, 투자율 향이 유효 투자율로 대체되고 유전율 향이 유효 유전율로 대체된다는 것을 제외하면, 마치 복합 재료(102)가 연속적인 물질인 것처럼 거시적으로 기술될 수 있다. 따라서, 인공 물질 또는 메타물질이라는 용어는 때때로 복합 재료(102)를 지칭하는데 사용될 수 있다.

도 1의 특정 예에서, 각각의 공진 셀(106)은 용량성 및 유도성 특성을 모두를 갖는 도전 물질의 패턴을 포함하는 슬레노이드 공진기를 포함한다. 도 1의 특정 예에서, 도전 물질은 정사각형 분할 링 공진기 패턴(square split ring resonator pattern)으로 형성되지만, 예를 들어 원형 분할 링 공진기 패턴, 스위치 링 패턴 또는 유사한 특성을 나타내는 다른 패턴을 포함하는 그 밖의 다른 패턴이 사용될 수 있다. 제한적인 의미가 아닌 예로서, 신호 빔(110)은  $1.55\mu\text{m}$ 의 파장을 가질 수 있고, 이 경우 공진 셀 크기는 약 300nm 미만이고, 그 크기가 150nm 이하인 경우에는 보다 낮은 성능을 발휘한다.

본 명세서에서 기술한 공진 소자(106)의 평면 어레이(104)를 포함하는 복합 재료(102)는 일반적으로 포토리소그래피 기법 및/또는 나노임프린트 리소그래피 기법을 사용하는 제작에 적합하다. 다수의 다른 크기가 가능하지만, 복합 재료(102)는 약  $0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm}$ 의 면적을 차지하는 정방형  $1\text{K} \times 1\text{K}$  어레이의 공진 소자(106)를 포함한다. 평면 어레이(104)용의 기관 물질은 신호 빔(110)의 파장의 광에 대해 사실상 비-흡수성을 가져야 한다. 따라서, GaAs 또는 Si를 포함하는 기관 물질이  $1.55\mu\text{m}$ 의 신호 빔 파장으로 적절하지만, 본 발명의 범주는 그에 제한되는 것은 아니다.

본 발명에 따른 각 공진 셀(106)의 분할 링 공진기 패턴 또는 유사한 구조의 두드러진 하나의 특징은, 그것이 전자기 방사가 존재하는 경우 특정 주파수에서 공진 상태를 야기하도록 상호작용할 수 있는 유도성 특성 및 용량성 특성을 야기한다는 것이다. 대체로, 공진 셀(106)이 도 1에 도시되어 있는 바와 같이 규칙적인 어레이의 배열로 배치되는 경우, 이 공진 상태는 음의 유효 투자율 및/또는 음의 유효 유전율을 나타내는 공진 셀(106)의 이웃들의 성과 연관된다. 복합 재료(102) 또는 공진 셀(106)의 이웃은 유효 투자율 및 유효 유전율이 동시에 음인 경우 음의 유효 굴절률을 갖는다. 일 실시예에서, 복합 재료(102)는 포지티브-인덱스 광학 장치의 회절 한계치를 초과하는 경우에도 매우 높은 해상도로 촬영할 수 있는 소위 슈퍼렌즈로 형성된다.

일 실시예에 따르면, 하나 이상의 공진 셀(106)의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나는 시간적으로 제어되어 제어된 셀의 이웃의 유효 굴절률의 시간적 제어를 달성한다. 공진 상태는 이들 특성에 매우 민감하기 때문에, 이들 특성에 영향을 주는 국부적 환경에 대한 작은 변화에도 제어 및 조작될 수 있다. 일 실시예에서, 기관 내에서의 전기 캐리어 수는 바람직하게는 제어 방식, 즉 제어 빔(112)을 신호 빔(110)의 주파수와는 다른 주파수를 갖는 셀 내로 도입함으로써 외부적으로 제어된다. 캐리어(예를 들어, 전자 또는 정공)의 존재는 공진 상태를 변경 및 선택에 따라서는 파괴하기에 충분한 양으로 용량성 및/또는 유도성 특성을 영향을 주어 유효 굴절률에 대한 실질적이고 유용한 제어가 달성된다. 특히, 캐리어의 존재는 예를 들어 기관 물질이 GaAs를 포함하는 경우 기관 물질의 고유의 굴절률에도 영향을 줄 수 있다. 이러한 고유의 굴절률이 예를 들어 0.1%-1% 내의 매우 작은 양만큼만 변할지라도, 이것은 공진 상태를 변경하기에 충분할 수 있다.

바람직하게, 공진 셀(106)의 도전체 근처의 기관 물질은 제어 빔(112)의 주파수에서 방사를 수신하는 것에 응답하여 캐리어 수의 변화를 야기하도록 구성 및 적용된다. 일 실시예에서, 기관은 밴드갭 에너지 및 대응하는 밴드갭 방사 주파수를 갖는 반도체 물질을 포함하며, 제어 빔 주파수는 상기 밴드갭 방사 주파수에 또는 그 위에 위치한다. 제어 방사는 흡수되고 유효 굴절률을 제어하는 캐리어가 생성된다. 대조적으로, 신호 빔(110)은 바람직하게 밴드갭 방사 주파수 아래에 위치하며, 따라서 신호 방사는 흡수되지 않으며 캐리어의 생성에 실질적으로 영향을 미치지 않는다. 따라서, 신호 빔(110)의 전파는 제어 빔(112)에 의해 유효 굴절률의 변화를 통해 제어된다. 특히, 유효 굴절률의 제어는 공간적 및 시간적 제어 모두일 수 있고, 따라서 본 발명에 따라 1차원 광학 변조기 및 2차원 공간 광 변조기를 포함한 광범위한 유용한 장치가 달성될 수 있다. 복합 재료에 의한 신호 빔의 시공간적인 제어는 주로 복합 재료에 입사하는 파면 상에서 유도되는 위상 변화의 형태를 갖는다.

제한적 의미가 아닌 예로서, 복합 재료(102) 내에 사용될 수 있는 GaAs 기관은 약  $1.43\text{eV}$ 의 밴드갭 에너지를 가질 수 있다. 이것은  $867\text{nm}$ 의 파장에 대응하는 밴드갭 방사 주파수에 대응한다. 제어 빔(112)은 밴드갭 방사 주파수보다 높은 주파수, 예를 들어  $867\text{ nm}$  미만의 파장에 위치해야 한다. 신호 빔(110)은 밴드갭 방사 주파수보다 낮은 주파수, 예를 들어  $867\text{ nm}$ 보다 큰 파장에 위치해야 한다.

바람직하게, 제어 빔(112)의 변화에 응답하여 이루어지는 GaAs 또는 Si 기관의 캐리어 수의 상승 및 하강은 매우 짧은 수 있으며, 이는 공간적 변화에 기반을 두느냐 또는 표면 전체에 걸쳐 고르게 있던지 간에 복합 재료(102)의 유효 굴절률에 대해 매우 빠른 시간적 제어를 가능하게 한다. 따라서, 캐리어 수의 상승 및 하강 시간이 피코세컨드 정도인  $100\text{ GHz}$ 의 정도에서도 매우 빠른 변조 레이트가 가능하다.

도 1의 장치(100)는 일 실시예에 따라 광학 트랜지스터로서 구성되며, 신호 빔(110)은 제어 빔(112)에 의해 변조되어 출력 빔(120)을 생성한다. 특히, 제어 빔(112)의 진폭(도 1의 플롯 113, "CTL"을 참조)은 복합 재료(102)로 하여금 신호 빔(110)(도 1의 플롯 111, "IN"을 참조)을 출력 광학 시스템(118)(도 1의 플롯 121, "OUT"을 참조) 상으로 적절히 포커싱하도록 야기하는 (i) 제 1 값("on")과, 복합 재료(102)로 하여금 신호 빔(110)을 출력 광학 시스템(118) 상으로 적절히 포커싱하지 않도록 야기하는 (ii) 제 2 값("off") 사이에서 변조된다. 특히, 임의의 다양하고 상이한 유효 굴절률 값 및 프로파일은 "off" 상태, 예를 들어 디포커싱 또는 빔방향 재조정을 달성할 수 있다. 일 실시예에서, "off" 상태는 전체 복합 재료(102) 양단에 걸쳐 음의 유효 굴절률에 대해 필요한 공진 상태를 신속하고 완벽하게 파괴하고 그런 다음 "on" 상태에 대한 공진 상태를 신속하게 복원함으로써 달성된다.



입력 광학 시스템(108) 및 출력 광학 시스템(118)은 본 명세서에서 기술하는 기능을 달성할 수 있는 포지티브-인덱스 촬영 시스템을 포함한다. 예를 들어, 입력 광학 시스템(108)은 신호 빔(110) 및 제어 빔(112)을 단일 빔으로 결합하는 광섬유 커플러를 포함할 수 있다. 입력 광학 시스템(108)은 상기 단일 빔을 복합 재료(102)의 제 1 평면 어레이(104)의 보다 큰 영역에 촬영하는 촬영 렌즈를 포함할 수 있다. 출력 광학 시스템(118)은 출력 빔(120)을 수집하고 안내하도록 설계된 임의의 다양한 광학 시스템을 포함할 수 있다. 입력 광학 시스템(108) 및 출력 광학 시스템(118)은 복합 재료의 전면 및 후면으로부터 제각각 10-500 $\mu\text{m}$  정도 분리될 수 있다. 바람직하게는, 복합 재료(102)가 "완벽 렌즈(perfect lens)"를 포함하는 경우, 수치적 개구부 요건은 매우 적당하고 저가의 광 수집 장치가 사용될 수 있다.

도 1에 도시된 파형으로 도시되어 있는 바와 같이, 일정 레벨 신호 빔의 ON/OFF 변조에 대한 실제적 사용은 광학 게이팅 및 파장 변환을 포함한다. 도 2 및 도 3은 다른 실시예에 따른 도 1의 장치와 연관될 수 있는 또 다른 신호 파형을 나타낸다. 도 2는 제어 빔의 아날로그 증폭(및 파장 변환)을 사실상 수행하는 일정 레벨 신호 빔의 아날로그 변조를 나타낸다. 이 아날로그 구현은 복합 재료(102)의 유효 굴절률의 작은 변화를 달성하기에 충분히 정확한 제어 빔의 미세한 시간적 변화를 사용하여 달성될 수 있다. 이것은 음의 유효 인덱스 특성이 이진 방식으로 완전히 생성 및 소멸되는 또 다른 실시예와는 대비된다. 도 3은 제어 빔의 미세한 시간적 변화를 통해 유사하게 구현될 수 있는 아날로그 신호 빔의 레벨 제어를 나타낸다.

도 4는 일 실시예에 따라 도 1의 복합 재료(102)에 사용될 수 있는 공진 셀(402)의 부분적 내부를 나타낸다. 일 실시예에서, 솔레노이드 공진 구조의 바깥 도전체(410) 및 안쪽 도전체(412)는 p 도핑된 GaAs 상부 층(404)과 p 도핑된 GaAs 중간 층(406)을 포함하는 기관 상에 형성되며, 상기 중간 층(406)은 상부 층(404)보다는 강하게 도핑된다. 기관은 도핑되지 않은 또는 보상된, 반-절연 GaAs를 포함하는 지지 층(408)을 더 포함한다. 금속-반도체 인터페이스가 상부 층(404)과 도전체(410,412) 사이에 형성되고, 그 양단의 광자 흡수 흐름에 의해 캐리어가 생성되어 수신된 제어 방사의 세기에 따라 공진 셀(402)의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나를 실질적으로 변경한다.

특히, 본 발명은 신호 광파는 다른 파장에서의 제어 광에 응답하여 공진 셀(402)의 용량성 및 유도성 특성 중 적어도 하나를 변경할 수 있는 임의의 다양한 메카니즘에 관한 것이다. 다른 실시예에서, n 도핑된 물질이 상부 층(404) 내에 배치될 수 있다. 또 다른 실시예에서, GaAs 또는 Si의 단일 반-절연 층이 사용될 수 있으며, 그럼에도 불구하고 가장 적절한 캐리어 수는 유효 굴절률을 변경하기에 충분한 양으로 공진 상태를 변경한다.

도 5는 일 실시예에 따른 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 장치(500)를 예시하는데, 상기 장치(500)는 하나 이상의 기관 상에 형성되어 평면 어레이(504)를 형성하는 공진 셀(506)의 구조물을 구비한 복합 재료(502)를 포함한다. 장치(500)는 신호 빔(510) 형태의 입사 전자기 방사를 수신하는 입력 광학 시스템(508)을 더 포함하고, 복합 재료(502)를 통과하여 전파한 후 출력 빔(520)으로서 나타나는 신호 방사를 수신하는 출력 광학 시스템(518)을 더 포함한다. 하나 이상의 입사 제어 신호(512)가 도 5에 도시되어 있는 바와 같이 기관의 에지로 도입되어 기관 캐리어 수 제어를 통해 신호 빔(510)의 시간적, 1차원 제어를 달성한다. 일 실시예에서, 기관은 제어 신호(512)가 기관 영역을 측면으로 "범람(flood)"하게 구성되고, 한편 다른 실시예에서는 도파관이 사용되어 광을 공진 셀(506)로 유도한다. 도 5의 구성의 하나의 잠재적인 장점은 제어 광이 평면 어레이(504) 사이에서 개별적으로 고르게 분포될 수 있다는 것인데, 이는 이전 층의 흡수로 인해 후속 층이 보다 적은 제어 광을 수신할 수 있는 도 1의 실시예와는 대비된다. 또 다른 실시예에서, 제어 광은 평면 어레이(504) 사이에서 원하는 제어 프로파일에 따라 분포될 수 있다.

도 1 및 도 5는 제어 광이 본 발명에 따라 복합 재료에 인가될 수 있는 다양한 방법 중 일부만을 나타낸다. 제어 광은 본 발명의 범주를 벗어나지 않고서 전면, 후면, 측면 등으로부터 인가될 수 있다. 예를 들어, 도 6 내지 도 8은 또 다른 실시예에 따라 각각 복합 재료(602,702,802)를 사용하여 제어 빔(CTL)과 함께 신호 빔(IN)을 제어하여 출력 빔(OUT)을 생성하는 구성을 나타낸다.

도 6의 예에서, 신호 빔 및 제어 빔은 신호 입력 광학 시스템(604) 및 제어 입력 광학 시스템(606)을 각각 사용하여 복합 재료(602)의 전면 수신 표면에 별개로 인가된다. 제어 입력 광학 시스템(606)은 신호 빔이 원하는 시간적 변조 기법에 따라 분량을 변경함으로써 출력 광학 시스템(608) 상으로 촬영되도록 하는 세기 패턴에 따라 제어 빔으로 하여금 복합 재료(602) 상으로 인가되도록 구성된다. 도 7의 예는 신호 입력 광학 시스템(704), 제어 입력 광학 시스템(706) 및 출력 광학 시스템(708)을 사용하여 유사한 결과를 달성하되, 제어 입력 광학 시스템(706)이 제어 광을 복합 재료(702)의 후면 상으로 도입한다는 점은 다르다. 도 8의 예는 신호 입력 광학 시스템(804) 및 제어 입력 광학 시스템(806)을 사용하여 양방향 스위칭을 달성하는데, 제어 빔의 제 1 상태에 대해, 복합 재료(802)는 신호 빔을 제 1 출력 광학 시스템(808) 상으로 포커싱하고, 제어 빔의 제 2 상태에 대해, 복합 재료(802)는 신호 빔을 제 2 출력 광학 시스템(808) 상으로 포커싱한다.



도 9는 공간적 및 시간적 방식으로 입사 전자기 방사의 전파를 제어하여, 공간적 광 변조 기능을 달성하는 장치를 나타낸다. 제어 빔 입력 시스템(906)은 예를 들어 간섭성의 평면파로서 도시되어 있는 입사 신호 빔(904)에 의해 대응하는 유효 굴절률 프로파일이 달성되도록 하는 원하는 세기 패턴 CTL(x,y,t)에 따라 제어 광을 복합 재료(902)의 표면 상에 이미지화한다. 신호 빔(904)이 복합 재료(902)를 통과하여 전파하는 경우, 그것은 홀로그래피 방식으로, 즉 복합 재료(902)에서 유도되는 위상 변화의 원하는 공간적 분포에 따라 2차원 패턴 OUT(x,y,t) 및/또는 원하는 3차원 실제 이미지 OUT(x,y,z,t)(908)으로 이미지화된다. 바람직하게, 제어 신호 CTL(x,y,t)의 변화에 대한 매우 빠른 응답 시간은 매우 빠른 공간 광 변조를 위해 구현된다. 광학, 이미징 및/또는 통신 애플리케이션용의 다수의 상이한 장치가 구현될 수 있다. 일 실시예에서, 세기 패턴 CTL(x,y,t)은 제 1 이진 값에 대해 그 위치에서 음의 유효 굴절률을 야기하고, 제 2의 이진 값에 대해, 그 위치에서 양의 유효 굴절률을 야기하는 이진 패턴을 포함한다. 다수의 예들 중 일 예로서, 이러한 장치는 홀로그래픽 신호 암호화/복호화 애플리케이션에 유용할 수 있다. 또 다른 실시예에서, 세기 패턴은 각각 제어 방사 주파수의 두 개의 제어 빔, 즉 기준 빔 및 객체 빔에 의해 형성되는데, 기준 빔 및 객체 빔은 홀로그램이 필름 감광 유제 상에 기록되는 방식과 유사하게 상이한 각도로 복합 재료의 전면쪽으로 유도되어, 결과적인 세기 패턴은 홀로그램식 간섭 패턴을 포함한다.

도 10은 일 실시예에 따라 소스 장치(예를 들어, 펌프 레이저(1004))로부터 목표 장치(1006)로 소스 방사를 결합하는 결합 장치를 나타내며, 상기 결합 장치는 복합 재료(1002)를 포함한다. 이 예에서, 펌프 레이저(1004)는 방출 패시트(emitting facet)(1008)를 구비하고 제 1 횡단 공간 모드 패턴을 나타내는 도 11에 개념적으로 도시되어 있는 불규칙적인 횡단 공간 모드 패턴에 따라 펌프 광을 방출하는 반면, 목표 장치(1006)는 수신 표면(1010)을 포함하고 도 12에 도시되어 있는 제 2 횡단 공간 모드 패턴(1202)에 따라 동작한다. 예를 들어, 목표 장치(1006)는 코어 펌프형(core-pumped) EDFA일 수 있고, 펌프 레이저(1004)는 반도체 다이오드 레이저를 포함할 수 있지만, 본 발명의 범주는 이에 제한되는 것은 아니다.

일 실시예에 따라, 복합 재료(1002)는 제 1 횡단 공간 모드 패턴(1102)을 제 2 횡단 공간 모드 패턴(1202) 상으로 이미지화하는 공간 유효 굴절률 패턴을 갖도록 구성된다. 일 실시예에서, 이러한 유효 굴절률 패턴은 정적으로 즉, 복합 재료 양단의 정적 공진 셀 파라미터 변화(예를 들어, 물질, 형상, 크기)에 따라 달성될 수 있다. 또 다른 실시예에서, 유효 굴절률 패턴은 기관 내에서의 시공간적 캐리어 수 제어를 통해 공간적으로 또한 시간적으로 제어된다.

도 13은 일 실시예에 따라 소스 장치(예를 들어, 펌프 레이저(1304))로부터 목표 장치(1306)로 소스 방사를 결합하는 결합 장치를 나타내는데, 상기 결합 장치는 복합 재료(1302), 제어 입력 광학 시스템(1306), 센서(1310) 및 피드백 제어 프로세서(1312)를 포함한다. 제어 입력 광학 시스템(1306)은 복합 재료(1302)로 하여금 펌프 레이저(1304)의 제 1 횡단 공간 모드 패턴을 목표 장치(1308)의 제 2 횡단 공간 모드 패턴 상으로 이미지화하도록 설계된 원하는 세기 패턴 CTL(x,y,t)에 따라 제어 광을 복합 재료(1302)의 표면상으로 이미지화한다. 센서(1310)는 예를 들어 목표 장치(1308)에 의해 생성된 출력의 세기를 감지함으로써 결합 효율을 감지하도록 구성된다. 피드백 제어 프로세서(1312)는 결합 효율을 개선 또는 최적화하는 방식으로 세기 패턴 CTL(x,y,t)을 동적으로 변경하도록 구성된다.

상술한 설명을 읽은 후 실시예에 대한 다수의 변형 및 수정이 당업자에게는 의심할 바 없이 분명하기 때문에, 예를 들어 도시하고 기술한 특정 실시예는 제한적 의미로 여겨지지 않는다. 예를 들어, 상술한 일부 실시예는 네거티브-인덱스 물질과 관련하여 기술하고 있지만, 이 실시예의 특징 및 장점은 다른 복합 재료와 관련하여서도 쉽게 적용가능하다. 그 예로 투자율 및 유전율이 반대 부호인 소위 무한정 물질(WO 2004/020186 A2를 참조)을 포함한다.

또 다른 예로서, 도 1의 복합 재료(102)는 간략성을 위해 전파 방향을 따라 정렬된 단일 세트의 평면 어레이(104)만을 도시하는 간단한 예를 나타낸다. 다른 실시예에서, 1 세트의 평면 어레이(104)에 수직인 제 2 세트의 평면 어레이가 제공되어 하나 이상의 전파 방향에 대해 음의 유효 투자율 및/또는 음의 유효 유전율을 용이하게 할 수 있다. 다른 실시예에서, 제 1 세트 및 제 2 세트의 평면 어레이 모두에 수직인 제 3 세트의 평면 어레이가 제공되어 보다 많은 전파 방향에 대해 음의 유효 투자율 및/또는 음의 유효 유전율을 용이하게 할 수 있다. 본 발명의 범주를 벗어나지 않고서 평면 어레이(104) 사이에 하나 이상의 부가적인 혼합 및/또는 연속적인 물질 평면 세트가 배치될 수 있다. 예를 들어, 유전체 지지 구조 상에서 수직 도전성 와이어로 구성되는 평면 어레이는 평면 어레이(104)와 상호얽혀(interwoven) 전체 복합 재료(100)에 대해 보다 큰 음의 유효 투자율을 제공할 수 있다. 평면 어레이(102) 상의 공진 셀(106)의 수는 원하는 전체 크기 및 원하는 동작 파장에 따라 수백, 수천 또는 그 이상일 수 있다.

또 다른 예로서, 본 발명의 범주를 벗어나지 않고서, 시간적으로 제어되는 공진 셀은 보다 큰 복합 재료의 일부분 상에서만 구현될 수 있고, 또는 비등방성 복합 재료의 가능한 방향의 부분집합과 연계하여 구현될 수 있으며, 또는 보다 큰 복합 재료의 일부분으로서 연속적인 물질과 하나 이상의 방향으로 인터리브(interleave)될 수 있다. 또 다른 예로서, 다른 방식으로 공진 상태를 파괴하지 않고서 달성될 수 있다면 공진 셀 내로의 전기 캐리어 주입은 본 발명의 범주 내에 속한다. 또 다

른 예로서, 본 발명에 따른 장치가 매우 빠른 시간적 제어를 제공할 수 있지만, 그러한 제어는 물론 매우 느린 방식으로 제공되어 고정된 제어 범을 갖는 정적 장치 및/또는 매우 드물게, 예를 들어 플래시 메모리 장치가 제어되는 방식과 유사하게 매일, 매달, 매년 한번씩 변경되는 제어 범을 갖는 준-정적 장치를 제공할 수 있다. 따라서, 상술한 실시예의 세부사항에 대한 참조는 그들의 범주를 제한하지는 않는다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 일 실시예에 따라 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 장치를 도시하는 도면,

도 2 및 도 3은 일 실시예에 따른 도 1의 장치와 연관된 신호 파형을 나타내는 도면,

도 4는 일 실시예에 따른 공진 셀의 내부의 일부를 도시한 사시도,

도 5는 일 실시예에 따른 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 장치를 도시한 도면,

도 6 내지 도 8은 하나 이상의 실시예에 따른 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 장치에 대한 상면도,

도 9는 일 실시예에 따른 입사 전자기 방사의 전파를 제어하는 장치를 도시한 도면,

도 10은 일 실시예에 따른 결합 장치를 도시한 도면,

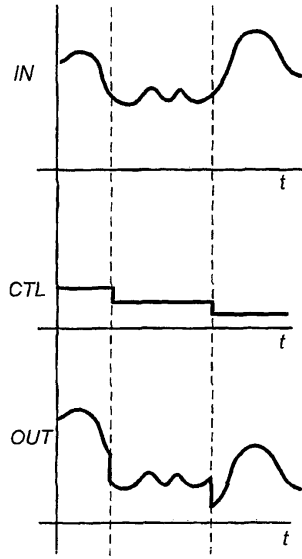
도 11 및 도 12는 도 10의 소스 장치 및 목표 장치의 제각기의 횡단 공간 모드를 나타내는 도면,

도 13은 일 실시예에 따른 결합 장치를 나타내는 도면.

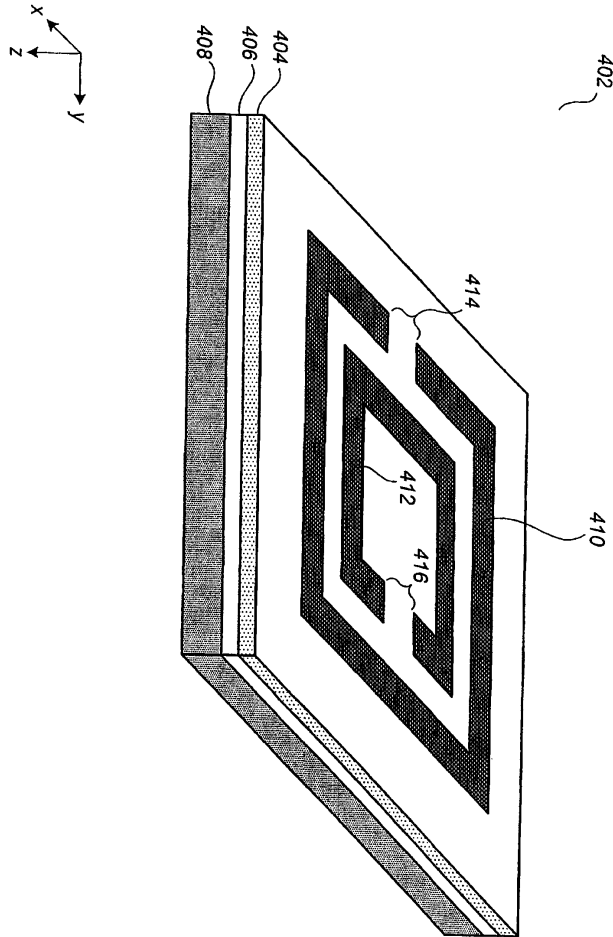
도면



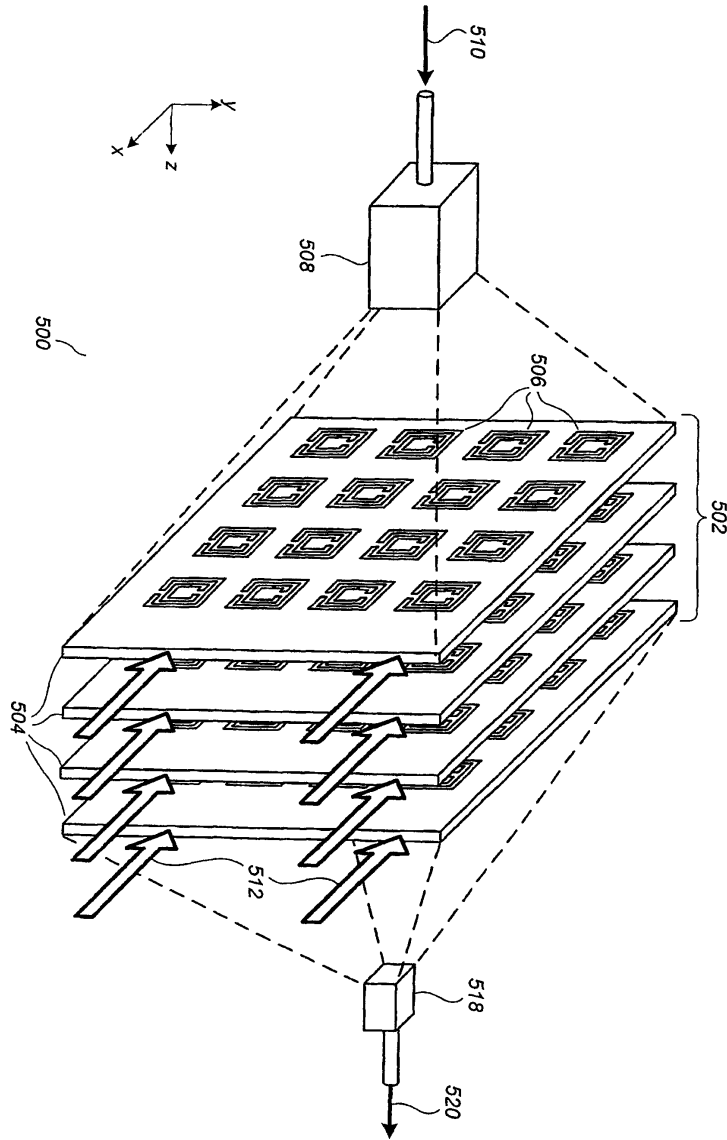
도면3



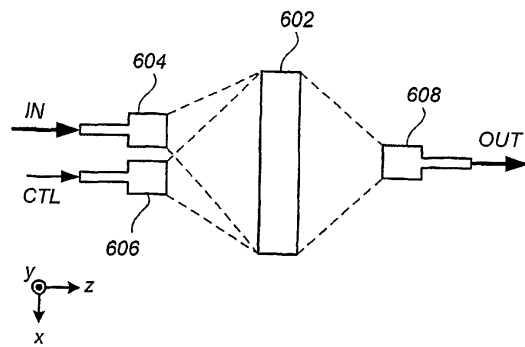
도면4



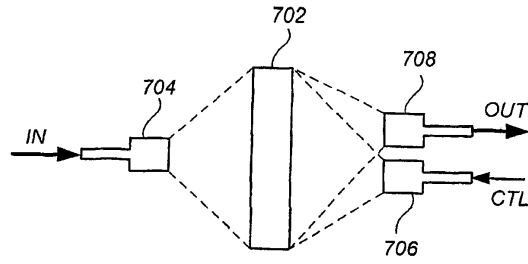
도면5



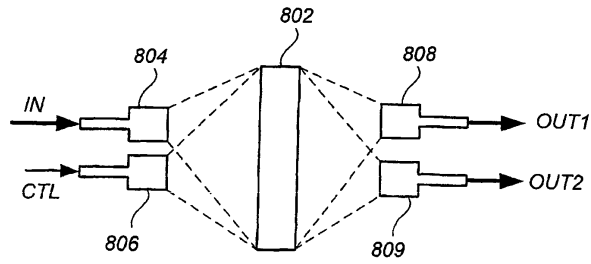
도면6



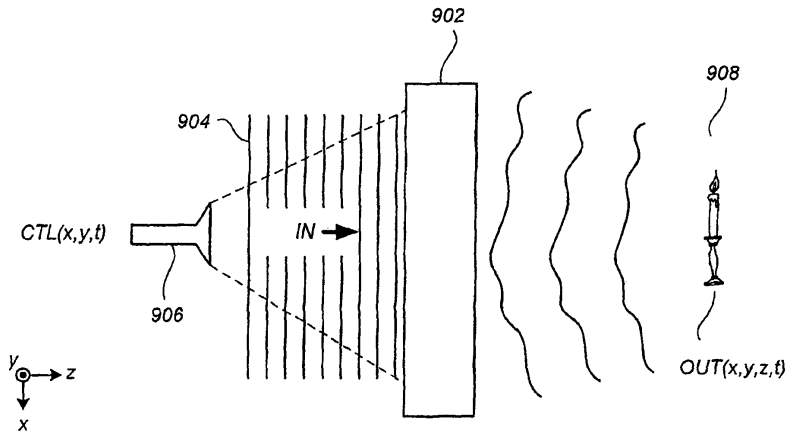
도면7



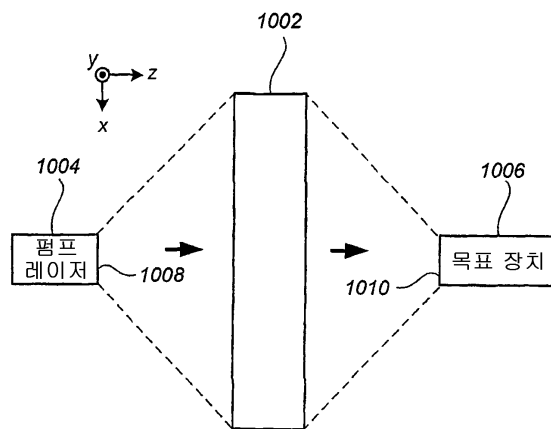
도면8



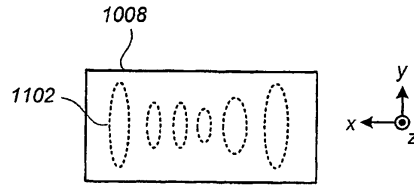
도면9



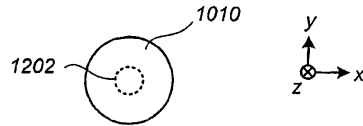
도면10



도면11



도면12



도면13

