



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년03월27일
(11) 등록번호 10-1962974
(24) 등록일자 2019년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/08 (2006.01) G01T 1/28 (2006.01)
G21H 1/04 (2006.01) G21H 1/06 (2006.01)
H01L 31/0352 (2006.01) H01L 31/0725 (2012.01)
H01L 31/115 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7020707
(22) 출원일자(국제) 2011년01월01일
심사청구일자 2016년01월04일
(85) 번역문제출일자 2012년08월07일
(65) 공개번호 10-2012-0134107
(43) 공개일자 2012년12월11일
(86) 국제출원번호 PCT/US2011/020001
(87) 국제공개번호 WO 2011/084903
국제공개일자 2011년07월14일
(30) 우선권주장
61/293,282 2010년01월08일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP63012179 A*
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자
티에이이 테크놀로지스, 인크.
미국 캘리포니아 (우편번호 92610) 풋힐 랜치 파울링 19631
(72) 발명자
타지마, 토시키
독일 85748 가르헨 브루넨베그 3
빈더바우어, 미헬
미국 92606 캘리포니아주 라데라 랜치 산 레온 27
(74) 대리인
양영준, 정은진, 백만기

전체 청구항 수 : 총 58 항

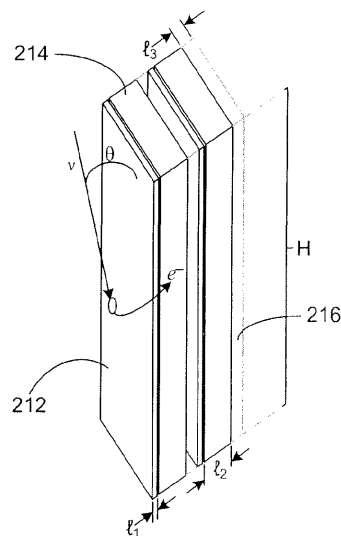
심사관 : 방기인

(54) 발명의 명칭 고에너지 광자들의 전기로의 변환

(57) 요약

연속적인 오거 전자 방출을 통해 하나의 고에너지 광자에 의한 다수의 전자들의 방출을 활용하기 위해 상이한 원자 전하들을 갖는 일련의 재료들을 이용하는, 고에너지 광자들의 에너지를 전기로 변환하기 위한 시스템 및 방법이 개시된다. 일 실시예에서, 고에너지 광자 컨버터는 유리하게는, 제1 재료의 층들이 제1 재료의 원자 전하수와 상이한 원자 전하수를 갖는 제2 재료의 층들 사이에 샌드위치된 선형 적층된 나노메트릭 스케일링된 웨이퍼를 포함한다. 다른 실시예들에서, 나노메트릭 스케일링된 층들은 튜브형 또는 셸형 구성으로 구성되고/구성되거나 제3 절연체 재료의 층들을 포함한다.

대표도 - 도4b



(56) 선행기술조사문헌

US04178524 A*

W02008144414 A1*

US06774300 B2

W01996004572 A1

W02009071587 A2

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

광자 방출들을 전기 에너지로 변환하기 위한 광자 에너지 컨버터로서,

광자들을 흡수하고, 제1 재료층에 흡수된 광자에 의해 상기 제1 재료층 내의 원자로부터 이젝팅된 전자들을 방출하는 제1 재료층 - 상기 제1 재료층은 상기 제1 재료층 내의 상기 방출된 전자들의 평균 자유 경로의 길이보다 작은, 상기 방출된 전자들의 방향에 따라 측정된 두께를 갖고, 상기 광자들의 파장들은 비 가시 영역에 있음 -; 및

상기 제1 재료층에 전기적으로 결합되고, 상기 제1 재료층으로부터 방출된 전자들을 수집하는 제2 재료층 - 상기 제2 재료층은 상기 제1 재료층으로부터 방출된 전자들의 상기 제2 재료층 내에서의 평균 자유 경로의 길이보다 큰, 상기 방출된 전자들의 방향에 따라 측정된 두께를 가짐 -

을 포함하고,

컨버터 요소를 위한 상기 제1 재료층 및 상기 제2 재료층은 상기 제1 및 제2 재료층들의 층들을 포함하는 다른 컨버터 요소들에 인접하여 측방으로 적층가능하고, 상기 컨버터 요소 및 상기 다른 컨버터 요소들의 제1 재료층들은 상기 컨버터 요소 및 상기 다른 컨버터 요소들의 제2 재료층들 중 인접한 층들 사이에 샌드위치되고, 광자의 전파 방향에 따라 측정된 상기 컨버터 요소 및 상기 다른 컨버터 요소들의 제1 재료층들의 개별적인 제1 재료층의 두께는 상기 제1 재료층 내의 상기 광자의 평균 자유 경로의 길이보다 작고, 상기 측방으로 적층된 컨버터 요소들 내의 제1 재료층의 복수의 층은 집합 두께를 갖고, 상기 측방으로 적층된 컨버터 요소들은 상기 컨버터 요소 및 상기 다른 컨버터 요소들을 포함하고, 상기 제1 재료층의 복수의 층은 광자와 만나고, 상기 광자의 전파 방향에 따라 측정된 상기 집합 두께는 상기 제1 재료층 내의 상기 광자의 평균 자유 경로의 길이보다 크고, 상기 제1 재료층으로부터 방출된 전자들은 상기 광자들의 전파 방향에 대해 수직인 방향으로 방출되고, 상기 광자들의 전파 방향은 상기 컨버터 요소 및 상기 다른 컨버터 요소들의 제1 및 제2 재료층들 중 인접한 제1 및 제2 재료층들 사이의 경계 표면에 대한 수직 벡터에 직교하는 컨버터.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 재료층에 결합되고, 절연체 재료를 포함하는 제3 재료층을 더 포함하는 컨버터.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 재료층들은 마주보고(face-to-face) 적층되는 컨버터.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1 재료층은 원통형 코어로 구성되고 상기 제2 재료층은 상기 원통형 코어 주위에 배치되는 원통형 셸로 구성되며, 상기 원통형 코어의 반경은 상기 제1 재료층 내의 상기 방출된 전자들의 평균 자유 경로의 길이의 1/2보다 작은 컨버터.

청구항 5

제4항에 있어서,

절연체 재료를 포함하고 상기 제2 재료층의 상기 원통형 셸 주위에 배치되는 원통형 셸로 구성되는 제3 재료층을 더 포함하는 컨버터.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 재료층은 상기 제2 재료층보다 높은 원자 전하수를 갖는 고원자 전하수 컴포넌트(high atomic charge number component)를 포함하는 컨버터.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 고원자 전하수 컴포넌트는 금속 산화물인 컨버터.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 고원자 전하수 컴포넌트는 텅스텐인 컨버터.

청구항 9

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 재료층의 원자 전하수는 상기 제1 재료층의 원자 전하수와 상이한 컨버터.

청구항 10

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 재료층의 원자 전하수는 상기 제1 재료층의 원자 전하수보다 낮은 컨버터.

청구항 11

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 재료층은 금속인 컨버터.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 금속은 알루미늄인 컨버터.

청구항 13

제2항 또는 제5항에 있어서,

상기 제3 재료층은 SiO_2 인 컨버터.

청구항 14

삭제

청구항 15

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 재료층에 의해 흡수 가능한 상기 광자들은 100 eV 또는 그보다 큰 범위의 에너지를 갖는 컨버터.

청구항 16

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 재료층에 의해 흡수 가능한 상기 광자들은 X 레이, XUV 레이 또는 감마 레이를 포함하는 컨버터.

청구항 17

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제1 및 제2 재료층들은 부하를 갖는 회로에 결합되는 컨버터.

청구항 18

제17항에 있어서,
상기 부하는 전기적으로 구동 가능한 컴포넌트, 전기 저장 시스템 또는 전기 그리드인 컨버터.

청구항 19

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제1 및 제2 재료층들은 광자 플렉스 소스로부터 방출되는 광자 플렉스를 가로막고, 그 광자 플렉스의 전파 방향에 대해 수직인 벽의 표면에 결합 가능하며, 상기 제1 및 제2 재료층들 중 인접한 층들 사이의 경계 표면들의 각각은 상기 광자 플렉스의 전파 방향에 대해 얇은 각도로 배향되는 컨버터.

청구항 20

광자 방출을 전기 에너지로 변환하기 위한 에너지 컨버터로서,
광자들을 흡수하고, 제1 재료의 복수의 층의 개별적인 층에 흡수된 광자에 의해 상기 제1 재료의 복수의 층의 개별적인 층 내의 원자로부터 이젝팅된 전자들을 방출하는 상기 제1 재료의 복수의 층 - 상기 제1 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제1 재료 내의 상기 방출된 전자들의 평균 자유 경로의 길이보다 작은, 상기 방출된 전자들의 방향에 따라 측정된 두께를 갖고, 광자의 전파 방향에 따라 측정된 상기 제1 재료의 복수의 층의 각각의 층의 두께는 상기 제1 재료 내의 상기 광자의 평균 자유 경로의 길이보다 작고, 상기 광자들의 파장은 비 가시 영역에 있고, 광자의 전파 방향에 따라 상기 광자가 만나는 상기 제1 재료의 복수의 층은 상기 제1 재료 내의 상기 광자의 평균 자유 경로의 길이보다 큰, 상기 광자의 전파 방향에 따라 측정된 집합 두께를 가짐 -; 및
상기 제1 재료의 복수의 층에 전기적으로 결합되고, 상기 제1 재료의 복수의 층으로부터 방출된 전자들을 수집하는 제2 재료의 복수의 층 - 상기 제2 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제1 재료의 복수의 층으로부터 방출된 전자들의 상기 제2 재료 내에서의 평균 자유 경로의 길이보다 큰 두께를 가지며, 상기 제2 재료의 복수의 층의 하나 이상의 층들은 상기 제1 재료의 복수의 층 중 인접한 층들 사이에 있고, 상기 광자들의 전파 방향은 상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층 중 인접한 층들 사이의 경계 표면에 대한 수직 벡터에 직교하고, 상기 제1 재료로부터 방출된 전자들은 상기 광자들의 전파 방향에 대해 수직인 방향으로 방출됨 -
을 포함하는 컨버터.

청구항 21

제20항에 있어서,
제3 재료의 복수의 층을 더 포함하며, 상기 제3 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제2 재료의 복수의 층의 하나 이상의 층들 중 인접한 층들 사이에 있는 컨버터.

청구항 22

제20항에 있어서,
상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층 중 인접한 층들은 마주보고 적층되는 컨버터.

청구항 23

제20항에 있어서,
상기 제1 재료의 복수의 층의 각각의 층은 원통형 코어로 구성되고 상기 제2 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제1 재료의 원통형 코어 주위에 동심으로(concentrically) 배치되는 원통형 셸로 구성되며, 상기 원통형 코어의 반경은 상기 제1 재료 내의 상기 방출된 전자들의 평균 자유 경로의 길이의 1/2보다 작은 컨버터.

청구항 24

제23항에 있어서,

절연체 재료를 포함하고 상기 제2 재료의 상기 원통형 셀 주위에 동심으로 배치되는 원통형 셀로 구성되는 제3 재료의 복수의 층을 더 포함하는 컨버터.

청구항 25

제20항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 재료는 상기 제2 재료보다 높은 원자 전하수를 갖는 고원자 전하수 컴포넌트를 포함하는 컨버터.

청구항 26

제25항에 있어서,

상기 고원자 전하수 컴포넌트는 내화 금속 또는 금속 산화물인 컨버터.

청구항 27

제25항에 있어서,

상기 고원자 전하수 컴포넌트는 텅스텐인 컨버터.

청구항 28

제20항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 재료의 원자 전하수는 상기 제1 재료의 원자 전하수와 상이한 컨버터.

청구항 29

제20항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 재료의 원자 전하수는 상기 제1 재료의 원자 전하수보다 낮은 컨버터.

청구항 30

제20항 내지 제24항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제2 재료는 금속인 컨버터.

청구항 31

제30항에 있어서,

상기 금속은 알루미늄인 컨버터.

청구항 32

제21항 또는 제24항에 있어서,

상기 제3 재료는 SiO₂인 컨버터.

청구항 33

제20항에 있어서,

상기 제1 재료의 복수의 층의 층들 각각은 상기 제2 재료의 복수의 층의 두 개의 층들 사이에 샌드위치되는 컨버터.

청구항 34

제20항 내지 제24항 및 제33항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 재료에 의해 흡수 가능한 상기 광자들은 100 eV 또는 그보다 큰 범위의 에너지를 갖는 컨버터.

청구항 35

제20항 내지 제24항 및 제33항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 재료에 의해 흡수 가능한 상기 광자들은 X 레이, XUV 레이 또는 감마 레이를 포함하는 컨버터.

청구항 36

제20항 내지 제24항 및 제33항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층은 부하를 갖는 회로에 결합되는 컨버터.

청구항 37

제36항에 있어서,

상기 부하는 전기적으로 구동 가능한 컴포넌트, 전기 저장 시스템 또는 전기 그리드인 컨버터.

청구항 38

제20항 내지 제24항 및 제33항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층은 광자 플럭스 소스로부터 방출되는 광자 플럭스를 가로막고, 그 광자 플럭스의 전파 방향에 대해 수직인 벽의 표면에 결합 가능하며, 상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층 중 인접한 층들 사이의 경계 표면들의 각각은 상기 광자 플럭스의 전파 방향에 대해 얇은 각도로 배향되는 컨버터.

청구항 39

제38항에 있어서,

상기 제1 재료의 복수의 층의 각각의 층은 원통형 코어로 구성되고 상기 제2 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제1 재료의 원통형 코어 주위에 동심으로 배치되는 원통형 셸로 구성되며, 상기 원통형 코어의 반경은 상기 제1 재료 내의 상기 이젝팅된 전자들의 평균 자유 경로의 길이의 1/2보다 작은 컨버터.

청구항 40

제39항에 있어서,

상기 제2 재료의 상기 원통형 셸 주위에 동심으로 배치되는 원통형 셸로 구성되는 제3 절연 재료의 복수의 층을 더 포함하는 컨버터.

청구항 41

삭제

청구항 42

광자 방출을 전기 에너지로 변환하기 위한 에너지 컨버터 시스템으로서,

광자 플럭스 소스를 둘러싸고, 상기 광자 플럭스 소스로부터 방출된 광자 플럭스를 가로막고, 그 광자 플럭스의 전파 방향에 대해 수직인 표면을 갖는 벽 - 상기 광자 플럭스는 비 가시 영역 내의 파장들을 갖는 광자들을 포함함 -; 및

상기 벽의 표면을 덮는 복수의 컨버터 타일

을 포함하고, 각각의 컨버터 타일은,

광자들을 흡수하고, 제1 재료의 복수의 층의 개별적인 층에 흡수된 광자에 의해 상기 제1 재료의 복수의 층의 개별적인 층 내의 원자로부터 이젝팅된 전자들을 방출하는 상기 제1 재료의 복수의 층 - 상기 제1 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제1 재료 내의 상기 방출된 전자들의 평균 자유 경로의 길이보다 작은, 상기 방출된 전자들의 방향에 따라 측정된 두께를 갖고, 광자의 전파 방향에 따라 측정된 상기 제1 재료의 복수의 층

의 각각의 층의 두께는 상기 제1 재료 내의 상기 광자의 평균 자유 경로의 길이보다 작고, 광자가 만나는 상기 컨버터 타일들 내의 제1 재료의 복수의 층은 집합 두께를 갖고, 상기 광자 플럭스의 전파 방향에 따라 측정된 상기 집합 두께는 상기 제1 재료 내의 상기 광자 플럭스의 광자에 대한 평균 자유 경로의 길이보다 큼 -; 및

상기 제1 재료의 복수의 층에 전기적으로 결합되고, 상기 제1 재료의 복수의 층으로부터 방출된 전자들을 수집하는 제2 재료의 복수의 층 - 상기 제2 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제1 재료의 복수의 층으로부터 방출된 전자들의 상기 제2 재료 내에서의 평균 자유 경로의 길이보다 큰 두께를 가지며, 상기 제2 재료의 복수의 층의 하나 이상의 층들은 상기 제1 재료의 복수의 층 중 인접한 층들 사이에 있고, 상기 광자들의 전파 방향은 상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층 중 인접한 층들 사이의 경계 표면에 대한 수직 벡터에 직교하고, 상기 제1 재료로부터 방출된 전자들은 상기 광자들의 전파 방향에 대해 수직인 방향으로 방출됨 -

을 포함하는 컨버터 시스템.

청구항 43

제42항에 있어서,

상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층 중 인접한 층들 사이의 경계 표면들의 각각은 상기 광자 플럭스의 전파 방향에 대해 얇은 각도로 배향되는 컨버터 시스템.

청구항 44

제42항에 있어서,

각각의 컨버터 타일은 제3 재료의 복수의 층을 더 포함하며, 상기 제3 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제2 재료의 복수의 층의 하나 이상의 층들 중 인접한 층들 사이에 있고, 상기 제3 재료는 절연체인 컨버터 시스템.

청구항 45

제42항에 있어서,

상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층은 마주보고 적층되는 컨버터 시스템.

청구항 46

제42항에 있어서,

상기 제1 재료의 복수의 층의 각각의 층은 원통형 코어로 구성되고 상기 제2 재료의 복수의 층의 각각의 층은 상기 제1 재료의 원통형 코어 주위에 동심으로 배치되는 원통형 셸로 구성되며, 상기 원통형 코어의 반경은 상기 제1 재료 내의 상기 이젝팅된 전자들의 평균 자유 경로의 길이의 1/2보다 작은 컨버터 시스템.

청구항 47

제46항에 있어서,

각각의 컨버터 타일은 절연체 재료를 포함하고 상기 제2 재료의 상기 원통형 셸 주위에 동심으로 배치되는 원통형 셸로 구성되는 제3 재료의 복수의 층을 더 포함하는 컨버터 시스템.

청구항 48

제42항 내지 제47항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 재료는 상기 제2 재료보다 높은 원자 전하수를 갖는 고원자 전하수 컴포넌트를 포함하는 컨버터 시스템.

청구항 49

제48항에 있어서,

상기 고원자 전하수 컴포넌트는 내화 금속 또는 금속 산화물인 컨버터 시스템.

청구항 50

제48항에 있어서,
상기 고원자 전하수 컴포넌트는 텅스텐인 컨버터 시스템.

청구항 51

제42항 내지 제47항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제2 재료의 원자 전하수는 상기 제1 재료의 원자 전하수와 상이한 컨버터 시스템.

청구항 52

제42항 내지 제47항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제2 재료의 원자 전하수는 상기 제1 재료의 원자 전하수보다 낮은 컨버터 시스템.

청구항 53

제42항 내지 제47항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제2 재료는 금속인 컨버터 시스템.

청구항 54

제53항에 있어서,
상기 금속은 알루미늄인 컨버터 시스템.

청구항 55

제44항 또는 제47항에 있어서,
상기 제3 재료는 SiO₂인 컨버터 시스템.

청구항 56

제42항에 있어서,
상기 제1 재료의 복수의 층의 층들의 각각은 상기 제2 재료의 복수의 층의 두 개의 층들 사이에 샌드위치되는 컨버터 시스템.

청구항 57

제42항 내지 제47항 및 제56항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제1 재료에 의해 흡수 가능한 상기 광자들은 100 eV 또는 그보다 큰 범위의 에너지를 갖는 컨버터 시스템.

청구항 58

제42항 내지 제47항 및 제56항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제1 재료에 의해 흡수 가능한 상기 광자들은 X 레이, XUV 레이 또는 감마 레이를 포함하는 컨버터 시스템.

청구항 59

제42항 내지 제47항 및 제56항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 제1 및 제2 재료의 복수의 층은 부하를 갖는 회로에 결합되는 컨버터 시스템.

청구항 60

제59항에 있어서,
상기 부하는 전기적으로 구동 가능한 컴포넌트, 전기 저장 시스템 또는 전기 그리드인 컨버터 시스템.

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 출원에 기재된 실시예들은 광자 에너지 변환에 관한 것이며, 특히 고에너지 광자들로부터 전기로의 에너지의 변환을 용이하게 하는 시스템들 및 방법들에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 광학적 범위 내의 광자들의 에너지를 전기로 변환하는, 예를 들어 광전지들('태양광 전지들')과 같은, 많은 공지의 장치들이 존재한다. 이들 장치들은 일반적으로 상이한 전자 친화도들과 같은 상이한 물리적 성질들을 가지는 적어도 2개의 재료들(즉, 실리콘 기반의 반도체들)로 구성되어 있다 (P. Würfel, The Physics of Solar Cells, 1st Edition, Wiley-VCH(2004) 참조). 재료들 중의 하나가 햇빛에 비추지면 태양 광자들은 가전자대에서 전자 이동도를 제공하는 전도대로 광전자들을 여기한다. 가전자대와 전도대 간의 에너지 갭은 통상 전자-볼트 단위인데, 이는 입사하는 태양 광자들의 에너지와 유사하다. 상이한 전자 친화도들을 가지는 두 재료들의 배열은 재료 경계에 걸쳐 전압을 생성하며, 이는 전기 에너지를 위해 태핑될 수 있다.

[0003] 그러나, 예를 들어 XUV, X 및 감마 레이들과 같은 고에너지 광자 영역에서 동작하는, 광자들로부터 전기로의 에너지의 변환을 위한 장치들은 알려지지 않았다. 그러한 장치들은 광범위한 응용들에 사용될 수 있을 것이다 - 예를 들면, 그러한 장치들은, 예를 들면 사용된 핵분열 연료봉들과 같은 방사성 재료들에 의해 방출되고, 예를 들면 폭발물들과 같은 폭발 원천들로부터 방출되고, 고온 플라즈마들 및 가속된 입자들의 빔들로부터 방출되는 고에너지 광자들의 변환을 위한 에너지 컨버터로서, 그리고 전력원들, 차폐물 등과 같은 공간 애플리케이션들에서의 장치로서 사용될 수 있을 것이다. 그러한 장치들을 제공하는 데 있어서의 어려움은, 가시 광선과 비교할 때 그러한 광자들과 물질과의 훨씬 적은 상호 작용의 결과인 물질을 뚫는 고에너지 광자들의 큰 관통성으로부터, 그리고 대부분의 물질들에 대하여 전자들의 평균 자유 경로가 통상 고에너지 광자들의 평균 자유 경로보다 몇 자리수 더 짧다는 사실로부터 유발된다. 평균 자유 경로에서 있어서의 이러한 차이의 결과로서, 고에너지 광자들을 트래핑하기 위해 사용되는 재료의 원자로부터 방출되는 전자들은 고에너지 광자 트래핑 재료 내에서 그들의 에너지가 열로 변환되는 동안 재결합에 굴복하는 경향이 있다.

[0004] 따라서, 고에너지 광자들로부터 전기로의 에너지의 변환을 용이하게 하는 시스템들 및 방법들을 제공하는 것이 바람직하다.

발명의 내용

[0005] 본 명세서에 기술된 실시예들은 고에너지 광자들로부터 전기로의 에너지의 변환을 목적으로 한다. 본 명세서에서 제공되는 실시예들의 기저를 이루는 원칙은 고에너지 광자들에 의한 (높은 원자 번호(high-Z) 재료들의 원자로부터의 깊게 위치한 내부 껍질 전자들의 방출을 포함하여) 원자로부터의 전자들의 방출에 기초한다. 방출된 전자들은 운동 에너지를 운반하며, 이는 방출된 전자들이 장치의 상이한 영역들로 이동하도록 유도할 수 있으며, 여기서 방출된 전자들의 축적은 그 다음 외부 전기 회로를 구동할 수 있는 전위를 생성할 수 있다. 광자의 관심 영역은 XUV 레이들, X 레이들, 감마 레이들 등을 포함하지만, 이에 한정되지는 않는, 비 가시 영역에서의 광자들을 포함한다.

[0006] 본 명세서에서 제공되는 시스템들 및 방법들은 오거(Auger) 전자 방출들의 캐스케이드를 통하여 단일 고에너지 광자에 의한 매우 큰 수의 전자들의 방출을 이용하기 위하여 서로 다른 원자 전하들을 가지는 일련의 재료들을 사용한다. 일 실시예에서, 고에너지 광자 컨버터는 바람직하게는, 전자들을 흡수하거나 수집하는 다른 재료들의 제2 복수의 층들과 결합된, 고에너지 광자들을 흡수하고 전자들을 방출하는 재료의 제1 복수의 층들로 구성된, 선형으로 적층된 나노미터 크기의 웨이퍼를 포함한다. 제2 복수의 층들의 재료는 제1 복수의 층들의 재료의 원자 전하 수와 다른 원자 전하 수를 가진다. 제1 및 제2 복수의 층들은 바람직하게는 측면으로 나란히(즉, 마주보고) 스택되어, 서로 겹치며, 고에너지 광자들의 전파 방향에 대해 그레이징(얕은) 각도로 배향된다. 다른 일 실시예에서, 나노미터 크기의 층들은 튜브형 또는 셸(shell) 모양 구성으로 구성된다. 또다른 일 실시예에서, 층들은 절연체 재료의 제3 복수의 층들을 포함한다.

[0007] 본 명세서에 기술된 시스템들 및 방법들은 넓은 범위의 애플리케이션들 - 에너지 감지 및 흡수로부터, 입자 가속기들의 고에너지 광자의 에너지 변환까지, 그리고 당업자에게 즉시 인식 가능한 다른 애플리케이션들은 물론(고온 플라즈마 같은) 다른 극도의 고온 재료 및/또는 대량의 고에너지 광자들을 방출하는(폭발물들과 같은)

폭발 원천들, (사용된 핵분열 연료봉들과 같은) 방사성 핵 폐기물들의 방출의 에너지 수집, 및 (전력원들, 차폐물 등과 같은) 공간 애플리케이션들로부터 - 에서 활용될 수 있다.

[0008] 예시의 실시예들의 다른 시스템들, 방법들, 특징들 및 효과들이 다음 도면들과 상세한 설명을 검토할 때 당업자에게 자명하거나 자명하게 될 것이다.

도면의 간단한 설명

[0009] 구조 및 동작을 포함하여 예시의 실시예들의 상세가, 유사한 참조 번호들이 유사한 부분들을 지칭하는 첨부도의 도면들의 검토에 의해 부분적으로 얻어질 수 있다. 도면들의 요소들은 반드시 크기대로라고 할 수 없으며 대신에 본 발명의 원칙을 설명하기 위한 경우 강조되고 있다. 또한, 모든 설명들은 개념 전달을 의도하며, 여기서 상대적인 크기들, 모양들 및 다른 상세한 특징들은 문자 그대로 또는 정확하게 보다는 개념적으로 설명될 수 있다.

도 1a는 선형으로 적층된 나노미터 크기의 고에너지 광자 컨버터 요소의 개념도,

도 1b는 대안적인 선형으로 적층된 나노미터 크기의 고에너지 광자 컨버터 요소의 개념도,

도 1c는 도 1a에 도시된 선형으로 적층된 나노미터 크기의 컨버터 요소들의 어레이를 포함하는 고에너지 광자 컨버터의 개념도,

도 1d는 도 1b에 도시된 선형으로 적층된 나노미터 크기의 컨버터 요소들의 어레이를 포함하는 고에너지 광자 컨버터의 개념도,

도 1e는 고에너지 광자 컨버터 회로의 개념도,

도 1f는 부하를 포함하는 외부 회로에 결합된 대안적인 고에너지 광자 컨버터 회로의 개념도,

도 2a는 원통형으로 적층된 나노미터 크기의 고에너지 광자 컨버터 요소의 투시도,

도 2b는 대안적인 원통형으로 적층된 나노미터 크기의 고에너지 광자 컨버터 요소의 투시도,

도 2c는 도 2a에 도시된 원통형으로 적층된 나노미터 크기의 컨버터 요소들의 어레이를 포함하는 고에너지 광자 컨버터의 투시도,

도 2d는 도 2b에 도시된 원통형으로 적층된 나노미터 크기의 컨버터 요소들의 어레이를 포함하는 고에너지 광자 컨버터의 단면도,

도 2e, 2f, 및 2g는 대안적인 기하 구성들을 가지는 고에너지 광자 컨버터들의 단면도들,

도 3은 입사하는 고에너지 광자들 v 의 전파 특징들 및 입사하는 고에너지 광자들 v 에 의해 재료 층의 그들 전자들로부터 방출되는 전자들 e^- 의 이동 특징들을 도시하는 도면,

도 4a는 복수의 선형으로 적층된 층들을 포함하는 컨버터 타일의 개념도,

도 4b는 복수의 선형으로 적층된 층들을 포함하는 컨버터 타일의 투시도,

도 5는 광자 플럭스 원천들로부터 방출되는 광자 플럭스를 가로막고 광자 플럭스에 대해 실질적으로 수직인 정합 표면을 따라 배치된 도 4a 및 4b에 도시된 타일들의 어셈블리를 보여주는 개념도,

도 6a, 6b, 및 6c는 광자 플럭스 원천들로부터 방출되는 광자 플럭스들을 가로채며 실질적으로 직교하는 정합 표면들을 따라 배치된 도 4a 및 4b에 도시된 타일들의 어셈블리를 보여주는 개념도들이다.

전 도면에 걸쳐서 설명의 목적을 위하여 유사한 구조들 또는 기능들의 요소들은 일반적으로 유사한 참조 번호들에 의해 표시된다는 점을 유의하여야 한다. 또한 도면들은 바람직한 실시예들의 설명을 용이하게 하는 것만을 의도한다는 점을 유의하여야 한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이하에 개시된 추가적인 특징들 및 가르침들 각각은 고에너지 광자들로부터 전기로의 에너지의 변환을 용이하게 하는 시스템들 및 방법들을 산출하기 위하여 다른 특징들 및 가르침들과는 별개로 또는 결합되어 활용될 수 있다. 이러한 추가적인 특징들 및 가르침들의 다수를 개별적으로 및 결합하여 활용하는 본 발명의 대표적인 예들

이 이제부터 첨부 도면들을 참조하여 더 상세히 설명될 것이다. 이러한 상세한 설명은 단지 당업자에게 본 가르침의 바람직한 측면을 실시하기 위한 추가 상세를 가르치기 위한 의도일 뿐이며, 본 발명의 범위를 제한하고자 의도하는 것은 아니다. 따라서, 넓은 의미에서 본 발명을 실시하기 위하여 이하의 상세한 설명에서 개시된 특징들 및 단계들의 결합이 반드시 필요한 것은 아니며, 이들은 대신 단지 본 가르침의 대표적인 예들을 특별히 기술하기 위하여 가르쳐진다.

[0011] 또한, 본 가르침의 부가적인 유용한 실시예들을 제공하기 위하여 대표적인 예들의 다양한 특징들 및 종속 청구항들이 구체적이고 명백하게 열거되지 않는 방식으로 결합될 수 있다. 또한, 상세한 설명에 개시된 모든 특징들 및/또는 청구항들은 실시예들의 특징들 및/또는 청구항들의 구성들과 독립적인 청구된 기술적 사상을 제한하고자 하는 목적뿐만 아니라 원래의 개시의 목적으로 서로로부터 분리되고 독립적으로 개시되도록 의도된다는 점을 명확히 주의한다. 또한 모든 값 범위들 또는 엔티티들의 그룹들의 지시들은 청구된 기술적 사상을 제한하고자 하는 목적뿐만 아니라 원래의 개시의 목적으로 모든 가능한 중간 값 또는 중간 엔티티를 개시한다는 점을 명확히 주의한다.

[0012] 본원에 기재된 실시예들은 고-에너지 광자(바람직하게는 약 100 eV 또는 그보다 큰 범위의 에너지를 갖는 광자)로부터 전기로의 에너지의 변환에 관한 것이다. 실시예들의 근거가 되는 원리는, 고-에너지 광자에 의한 (높은 원자 번호 (높은-Z) 재료의 원자로부터 심층부의 내부 셀 전자의 방출을 포함하는) 원자로부터의 전자의 이젝팅에 기초한다. 이젝팅된 전자는 운동 에너지를 전달하며, 이는 디바이스의 상이한 영역으로 이젝팅된 전자의 이동을 야기할 수 있는데, 디바이스의 상이한 영역에서 이젝팅된 전자의 축적은 외부 전자 회로를 구동하기 위해 태핑될 수 있는 전위를 생성할 수 있다. 관심의 광자 스펙트럼은, XUV 레이, X-레이, 감마 레이 등을 포함하지만 이에 제한되지는 않는, 바람직하게는 비가시 영역(non-visible regime) 내의 광자를 포함한다. 그러한 광자의 에너지는, 가시 영역 내의 광자의 에너지 보다 자릿수가 더 크고, 따라서, 열중성화(thermalization)에 대한 마진이 더 크다(이론적 카르노(Carnot) 계수는 1에 근접함). 일반적으로 100 eV 또는 그보다 큰 높은 입사 광자 에너지 때문에, 본원에 기재된 시스템 및 방법은 광전자 디바이스들(예를 들면, 솔라 셀), 또는 열전자 효과(예를 들면, 제백(Seebeck) 효과)에 기초한 디바이스들과 같은, 광자의 다른 표준 에너지 컨버터들에 비해 매우 높은 에너지 변환 효율을 가질 수 있다.

[0013] 더 자세히 후술되는 바와 같이, 이 잠재적으로 높은 이득을 이용하는 데에 사용되는 시스템 및 방법은 고-에너지 광자의 에너지를 전기 에너지의 적합한 형태로 효과적으로 채널링하고, 이는 외부 회로를 구동하는 데에 태핑되어, (전자 역학이 자기장에 걸친 자이로스코프식 모션(gyromotion)에 의해 특성화되도록) 강한 자기장이 존재하는 응용들을 포함하는 광범위한 응용들을 다룰 수 있다. 그 결과, 본원에 기재된 시스템 및 방법은 광범위한 응용들 - 에너지 검출 및 흡수로부터, 입자 가속기 내에서의 고-에너지 광자의 에너지 변환, 다른 (고온 플라즈마와 같은) 지극히 뜨거운 물질로부터의 고-에너지 광자의 직접 에너지 변환 및/또는 (폭약과 같은) 엄청난 고-에너지 광자를 방출하는 폭발 소스, (사용된 핵분열 연료봉과 같은) 방사 핵 폐기물의 방출의 에너지 포획, 및 (전력 소스, 쉘딩 등과 같은) 우주 응용들 뿐만 아니라 당업자들이 용이하게 인식할 수 있는 다른 응용들에서 이용될 수 있다.

[0014] 본원에서 제공되는 시스템 및 방법은 상이한 원자 전하들을 갖는 재료들의 일련의 층들을 이용하여, 연쇄적인 오거 전자 방출을 통한 단일 고-에너지 광자에 의한 다수의 전자의 방출을 활용한다. 일 실시예에서, 고-에너지 광자 컨버터는 바람직하게는, 고에너지 광자를 흡수하고 전자들을 방출하기 위한 재료의 제1 복수의 층과 제1 복수의 층으로부터 방출된 전자들을 흡수 또는 수집하기 위한 다른 재료의 제2 복수의 층이 결합되어 구성된, 선형적으로 적층된 나노메트릭 스케일링(nanometric-scaled)된 웨이퍼를 포함한다. 제2 복수의 층의 재료는 제1 복수의 층의 재료의 원자 전하 수와는 상이한 원자 전하 수를 갖는다. 다른 실시예에서, 나노메트릭 스케일링된 층들은 튜브형 또는 셸-모양 구성으로 구성된다. 나노메트릭 층들은 도너 원자들로부터 광전자의 분리를 용이하게 한다. 이러한 구조를 이용하여, 결과적인 컨버터는 다르게는 고-에너지 광자에 직접 노출될, 재료에 입사되는 전력 플럭스를 감소시킴으로써 이 재료들의 가열량을 감소시킬 수 있으며, 다르게는 심각한 고-에너지 광자 조사 손상의 대상이 되는 재료의 열화를 개선할 수 있다.

[0015] 도면의 세부사항을 참조하여, 고-에너지 광자의 전기로의 고 효율을 갖는 에너지 변환을 위한 시스템 및 방법이 설명된다. 전술된 논의의 목적을 위해, 컨버터 디바이스 또는 디바이스들은 전자 궤도에 결정적으로 영향을 줄 수 있는 강한 자기장에 내장되는 것으로 가정된다. 그러나, 아래에서 명백해질 것과 같이, 디바이스의 특성 길이 스케일에서, 실시예들이 예컨대 사용된 핵분열 연료봉 응용들과 같은, 자기장이 작거나 존재하지 않는 응용들에 동등하게 응용가능하도록, 전자 궤도 속성들은 (실용적으로 달성할 수 있는 강도를 갖는) 전자장에 의해

최소한의 영향을 받는다.

[0016] 도 1a 내지 1f를 참조로 하여, 선형 구조를 갖는 광자 에너지 컨버터의 실시예들이 도시된다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 선형 구조를 갖는 광자 에너지 컨버터의 가장 기본적인 빌딩 블록 또는 컨버터 요소(10)는 제1 원자 번호 Z_1 을 갖고, 바람직하게는 예를 들면 내화 금속 또는 금속 산화물과 같은 높은 원자 번호 구성요소를 포함하는, A 종류 재료의 제1층(12)으로 구성된다. 바람직하게는, 제1층(12)은, A 종류 재료의 제1층(12)의 원자 번호와 상이한 제2 원자 번호 Z_2 를 갖고 바람직하게는 A 종류 재료의 제1층(12)의 원자 번호보다 낮은 원자 번호에 의해 전형적으로 바람직하게 특정화된(즉, $Z_2 < Z_1$) 금속을 포함하는 B 종류 재료의 2개의 층(14) 사이에 샌드위치된다. 도 1b에 도시된 바와 같이, 기본 빌딩 블록(10)은 옵션으로서 C 종류 재료의 절연 층(16)의 추가에 의해 향상될 수 있다. A, B, 및 C 종류 재료의 예시적인 세트는 A = 텅스텐(W), B = 알루미늄(Al), C = SiO₂와 같은 절연체를 포함할 수 있으나, 이에 제한되지 않는다. 대안적으로, 절연 층은 단순히, 냉각제로 작용할 수 있는 자유 유동성 헬륨일 수 있다. 그러나, 당업자는 다른 재료들이 본 발명의 사상 내에서 대체될 수 있음을 인지할 것이다.

[0017] 도 1c 및 1d에 도시된 바람직한 실시예들에서, 모든 A 종류 층(12)에서 광자에 의해 소모되는 이론적인 최대 집합 광자 경로 길이가 A 종류 재료에 의해 흡수되는 고에너지 광자들 ν 의 평균 자유 경로에 비교가능하거나 또는 더 커질 때까지, 컨버터(11, 13)는 측방으로 나란히(즉, 면-대-면으로) 적층된 기본 빌딩 블록의 시리즈 또는 어레이를 포함한다. 도 1c 및 도 1d에 도시된 바와 같이, B 종류 재료의 하나 이상의 층(14)은 A 종류 재료의 인접한 층들(12) 사이에 있고, 선택적으로, 유형 C 절연 재료의 층(16)은 B 종류 재료의 인접한 층들(14) 사이에 있다.

[0018] 빌딩 블록들 또는 컨버터 요소들(10)을 나란히 스택킹하는 것은 A 종류 재료에 흡수된 고에너지 광자들 ν 에 의해 유도된 전자 방출을 효율적으로 수용하는 데에 적합한 전체 구조를 위한 기하를 제공한다. 도 3에 도시된 광자의 극성 \vec{E} 는 광자 ν 의 전파 방향에 대해 수직이므로, 방출된 전자 e^- 의 방향은 (평면으로부터 멀어지는 쪽으로, 그러나 그 평면 상에서 피크인, 적절하게 감쇄하는 각 분산(angular distribution)을 갖고) 주로 광자들 ν 의 전파 방향에 대해 수직인 평면 P_e 의 방향이다 (그러나, 그러한 평면은 광자들 ν 의 극성을 포함함). 도 1a 및 도 1b에 도시된 바와 같이, 컨버터 요소(10)의 층들(12, 14)은 층들간의 경계 표면에 대한 수직 벡터가 광자 ν 의 전파의 방향에 일반적으로 직교인 방향이 되도록 하는 방향으로 나란히 적층된다. 후술되는 바람직한 일 구성에서, 층들간의 경계 표면들은 입사 고-에너지 광자 ν 의 전파의 방향을 갖는 그레이징(얕은) 각도로 정렬될 수 있다. 그 결과, 입사 고-에너지 광자 ν 에 의해 그들의 원자들로부터 A 종류 재료의 층들(12) 내에 방출된 전자들 e^- 은 B 종류 재료의 이웃 층들(14)로 일반적으로 직교로 이동할 수 있다.

[0019] 각 실시예, 및 그의 임의의 변형의 원리에 대한 중심은, 방출된 광전자들 e^- 이 A 종류 재료의 층(12)에 갇히고/갇히거나 흡수되는 것이 아니라, B 종류 재료의 층(14)에 흡수된다는 요건이다. 방출된 전자들 e^- 이 A 종류 재료의 층(12) 내에 갇히지 않고, 방출된 전자들 e^- 이 A 종류 재료의 층(12)으로부터 탈출하거나 또는 A 종류 재료의 층(12)으로부터 B 종류 재료의 층(14)으로 이동하는 가능성을 높이는 것을 보장하기 위해, A 종류 재료의 각 층(12)의 두께, ℓ_1 은 바람직하게는 그러한 A 종류 재료 내의 전자들의 평균 자유 경로(mean free path)의 길이보다 더 작거나 또는 그 정도이다. B 종류 재료의 각 층(14)의 두께, ℓ_2 는 바람직하게는 B 종류 재료 내의 전자들의 평균 자유 경로의 길이보다 크거나 또는 그 정도이다. 바람직하게는, 이들 실시예들의 층들의 나노메트릭 배열은, A 종류 재료 내의 전자 평균 자유 경로, $\ell_e(Z_1)$ 이 B 종류 재료 내의 전자 평균 자유 경로, $\ell_e(Z_2)$ 로부터 너무 다르지 않으면서, 동시에 A 종류 재료 내의 광자 평균 자유 경로가 B 종류 재료 내의 그것의 평균 자유 경로보다 훨씬 작다는, 즉, $\ell_p(Z_1) \ll \ell_p(Z_2)$ 인, 고유한 물리적 원칙들의 반영이다.

[0020] 예를 들면, 100 keV 입사 광자들에 대해, 이들 시스템들에 대한 전형적인 층 두께 치수들은, 대략 1nm와 같은 A 종류 재료에 대한 ℓ_1 , 대략 100nm와 같은 B 종류 재료에 대한 ℓ_2 , 및 필요한 경우 이웃하는 층들 사이의 아킹(arc)을 방지하도록 조정되는 옵션의 타입 C 재료에 대한 ℓ_3 을 포함한다. 10T에 이르기까지의 자기장들 B에 대해, 이들 치수들은 전자들의 자이로반경(gyroradius) ρ_e 보다 작다. 따라서, 이들 길이 스케일들에 대해,

전자들은 자화되지 않지만, 그들의 역학은 주로 충돌 레짐(collisional regime)에 있다. 그 결과로서, 전술한 컨버터 요소들(10) 또는 컨버터들(11 및 13)은 또한 자기장들이 없거나 또는 무시할 만큼 작은 응용들에 적용 가능하다.

[0021] 입사 고에너지 광자들 ν 에 의해 A 종류 재료의 층들(12) 내의 원자들로부터 이젝팅된 전자들 e^- 의 B 종류 재료의 이웃하는 층들(14)로의 이동은 전하의 축적을 야기하며, 종국적으로 A 및 B 종류 재료의 층들(12 및 14) 사이에 전위를 생성한다. 도 1e 및 1f를 참조하면, 모든 A 종류 및 B 종류 층들(12 및 14)은, 각 A 종류 층(12) 및 B 종류 층(14)이 개별 전극으로서 기능하도록 회로들에 접속된다. 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 알 수 있는 바와 같이, 병렬 또는 직렬 방식으로 층들을 접속하거나 또는 층들을 그룹화하는 것에 대해 대체로 무한한 수의 옵션들 및 대안들이 존재한다. 결과적으로 그러한 회로의 최적 구성은 유리하게도 응용 결정가능하다. 예를 들면, 도 1e에 도시된 바와 같이, 개별 층들(12 및 14)은, A 종류 재료의 각 층(12)이 B 종류 재료의 가장 가까운 층들(14) 중 하나에 접속되거나, 또는 도 1f에 도시된 바와 같이, A 종류 재료의 각 층(12)이 타입 C 재료의 절연층(16)에 의해 그것으로부터 분리되는 B 종류 재료의 가장 가까운 층들(14) 중 하나에 접속될 수 있는 방식으로 접속될 수 있다. 이들 구성들에서, 전기적으로 결합된 층들은 나노-배터리들을 효과적으로 형성하며, 동시에 형성된 전기 전위 차이는 이동하는 전자들의 운동 에너지 정도이다. 부하를 구동하는 데에 이용할 수 있는 전체 전압은 개별 나노-배터리 셀(15)의 전압 또는 나노-배터리 셀들(17 및 19)의 시리즈들의 합과 같다. 도 1f에 도시된 바와 같이, 부하(22)를 포함하는 외부 회로(20)는 나노-배터리 셀들(17 및 19)에 연결되며, 이는 직렬로 연결되는 것으로 도시되나 병렬로 연결될 수도 있다. 부하(22)는 전기적으로 구동가능한 시스템 또는 컴포넌트, 에너지 저장 시스템, 전기 그리드 등을 포함할 수 있다.

[0022] 대안적으로, 전극층들(12 및 14) 사이의 회로의 부하 저항을 조절함으로써, 안정 상태 전압이 외부적으로 제어될 수 있고, 그에 따라 절연층(16)의 두께가 정해질 수 있다.

[0023] 또 다른 실시예에서, 기본 빌딩 블록은 원통형 튜브 또는 셸 구성을 포함한다. 도 2a에 도시된 바와 같이, 원통형 컨버터 요소(110)는 B 종류 재료의 원통형 튜브 또는 셸(114)에 의해 둘러싸인 A 종류 재료의 원통형 코어(112)를 포함한다. 도 2b에 도시된 바와 같이, 옵션으로 B 종류 재료의 각 셸(114)을 타입 C 재료의 절연 셸(116)로 둘러싸는 것이 다시 가능하다. 이러한 원통형 구성에서, 동일한 치수 규칙들이 다양한 두께들에 적용되는데, 즉, A 종류 재료의 원통형 코어들(112)의 반지름은 A 종류 재료의 전자 평균 자유 경로의 약 절반, 약 $\lambda_e(Z_1)/2$ 보다 작거나 또는 그 정도이면서, B 종류 재료의 셸(114)의 두께는 재료 B의 전자 평균 자유 경로, 약 $\lambda_e(Z_2)$ 정도이다.

[0024] 컨버터 요소(110)의 원통형 튜브 또는 셸 구성의 이점은, 방출된 전자들이 360° 방위각 전체에 걸쳐 동일한 확률로 방출되기 때문에, 원통형 튜브 또는 셸 구성이 방출된 전자들을 캡처하는 데 있어서 제공할 수 있는 더 높은 효율성이다. 위에서 설명되고 도 3에 도시된 바와 같이, 전자들 e^- 은 주로 광자 ν 의 전파의 방향에 수직이고 광자들의 극성(\vec{E})에 평행한 평면 P_e 의 방향으로(평면으로부터 멀어지는 쪽으로, 그러나 그 평면 상에서 피크인, 적절하게 감쇄하는 각 분산(angular distribution)을 갖고) 이젝팅된다. 광자의 극성의 각도에 따라, 이젝팅된 전자 e^- 는 약 360° 방위각 어디라도 향하게 될 수 있고, 그러한 경우에 셸의 원통형 배열은 도 1a 내지 1f에 도시된 선형 구성들에 비해 B 종류 재료에서의 더 높은 전자 캡처 및 효율적으로 더 높은 전자 캡처 효율을 야기한다.

[0025] 전술한 선형 기하 컨버터와 마찬가지로, 원통형 빌딩 블록들(110)은 묶음으로 되어 선형 기하 컨버터와 동일한 물리적 크기 제한들에 따르는 집합 구조체들을 형성한다. 예로서, 하나의 특정 적층 배열(111)이 도 2c에 도시된다. 대안적으로, 도 2d에 도시된 바와 같이, 또 다른 적층 배열(113)에서, 절연 재료(116)가 인접한 컨버터 요소들 또는 셸들(110) 사이의 빈 공간들을 채울 수 있다. 그러한 빈 공간은 또한 순환하는 가스 냉매, 예를 들면 압축 헬륨을 위한 도관으로서 기능할 수 있다. He에 의한 광자 흡수가 관심있는 광자 에너지들에 걸쳐 무시할 수 있기 때문에, 이는 효과적인 냉각 수단을 형성한다. 전기 접속들은 다시 선형 기하 구성들과 유사하고 마찬가지로 빌딩 블록들(110)의 층들 또는 셸들(112 및 114)를 접속시키는 데 있어 많은 상이한 옵션들을 제공한다.

[0026] 대안적인 지오메트릭 구성들이 도 2e, 2f 및 2g에 도시된다. 도 2e는 엇갈리게 배치된 선형 적층형 층형 배열을 도시하며, 여기에서 A 종류 재료의 층들(112)은 B 종류 재료의 층들(114)에 인접하게 배치되도록 오프셋된다. 도 2f는 코어들(112) 사이의 빈 공간들(114)을 채우는 B 종류 재료에 의해 둘러싸인 복수의 A 종

류 재료의 코어들(112)을 도시한다. 정사각형 형상으로 도시되지만, 코어들(112)은 원형, 타원형 등일 수 있다. 도 2g는 코어(112) 및 셀층(114)이 정사각형 형상인 것을 제외하고 도 2d의 구성과 유사하다. 이들 경우들에서, 요소들(112, 114 및 116)의 치수는 도 1a 내지 1c 및 도 2a 내지 2d에서 논의된 동일한 제약들에 따른다. 정사각형의 경계들에서의 전자 역학은 상이하지만, 이들 경계 효과들을 제외하면, 다른 물리적 특성들은 일반적으로 원통형 경우들과 유사하다.

[0027] 최대 세 가지 종류의 재료들로 이루어지는 전술한 바와 같은, 어느 하나의 기하에서의 기본 빌딩 블록은, 고에너지 광자들에 의해 이온화된 도너 원자들의 본래의 장소로부터 이탈되는 전자들을 동시에 생성하기에 적합하다. 이는 차례로, 층들 사이의 및/또는 옵션의 절연체에 걸친 전기 전압들의 생성을 일으키는데 기여한다. 전술한 바와 같이, 그러한 배열은 전기적 일을 하도록 또는 컨버터로부터 전력을 송신하도록 회로에 전기적으로 접속될 수 있다. 추가의 변종으로서, 당업자는 또한 이들 층들 사이에 외부 전압(바이어스 전압)을 인가할 수 있으며, 이는 전기 특성들에 대한 추가 제어를 제공하고 층들 중의 임의의 층에 걸친 아칭(arching)에 대한 전위를 최소화한다는 것에 유의한다.

[0028] 도 4a 및 4b를 참조하면, 입사 고에너지 광자 v 가 A 종류 재료의 층(212)에 의해 캡처되고 B 종류 재료의 층(214)을 간단히 통과하지 못하게 하는 것을 보장하도록 방사에 노출된 표면 영역을 최대화하기 위해, 컨버터 타일 또는 셀(200)의 타입 A 및 B 재료들의 적층된 층들(212 및 214), 및 타입 C 절연 재료의 옵션층(216)은 바람직하게는, 예를 들면, 약 1/100 라디안 정도일 수 있는, 입사 고에너지 광자 v 의 전파 방향에 대해 그레이징(grazing)(얕은) 각도 θ 로 기울어진다. 컨버터 타일(200)을 기울이는 것은 또한 충돌되는 A 종류 재료의 충분한 냉각을 보장하고, A 종류 재료의 각 개별 층(212)의 두께뿐만 아니라, 전체 컨버터 어셈블리의 A 종류 재료의 모든 층들(212)의 집합 유효 두께를 (전자들의 평균 자유 경로에 관해) 최소화한다. 그레이징 각도로 컨버터 타일(200)을 기울이는 것은 또한 전자들이 A 종류 재료의 표면에 현저하게 수직으로 방출되게끔 한다. 이것은 또한, 타일(200)의 표면의 배향 각도 ϕ 가 입사 고에너지 광자 v 의 전파 방향에 수직으로 구성되는 경우에 대하여 A 종류 재료의 투과 거리가 동일한 팩터만큼 향상되기 때문에, 타일(200)당 반복되는 층들의 필요한 수를 대략 $1/\theta$ 의 팩터만큼 감소시킨다. 이것은 또한 B 종류 재료의 인접층으로의 전자들의 탈출을 최대화한다.

[0029] 대안적인 실시예에서, 도 4a 및 4b에 도시된 컨버터 타일(200)은, 나란히 적층되고 그레이징 각도 θ 로 기울어진 (도 2a 및 2b에 도시된) 복수의 원통형 컨버터 요소들(110)을 포함한다.

[0030] 도 4b를 참조하면, 약 100 keV 정도의 에너지를 갖는 대부분의 고에너지 광자들을 효과적으로 흡수하기 위해, 디바이스의 높이 H 는 대부분의 광자 전파의 일반적인 방향으로 대략 1 cm의 길이 정도로 연장될 필요가 있다. 이것은 광자 전파 방향으로 충분한 집합 두께를 갖는 A 종류 재료로 전체 광자 플럭스를 가로막고자 하는 요구에 기인한다. B 종류 재료의 각 층의 두께가 전형적으로 A 종류 재료의 각 층의 두께보다 훨씬 더 크기 때문에 ($\ell_1 \ll \ell_2$), 고에너지 광자들이 그러한 재료 내의 그들의 평균 자유 경로보다 더 큰 집합 거리에 걸쳐 A 종류 재료를 만나는 것을 보장하도록, 광자 플럭스의 방향으로 투영된 빌딩 블록들의 완성된 적층의 총 높이 H 가 A 종류 재료 내의 특정 광자들의 평균 자유 경로보다 훨씬 더 커질 필요가 있다. 따라서, 빌딩 블록들의 완성된 적층의 높이는 적어도 ℓ_2/ℓ_1 의 팩터만큼, 또는 절연층을 포함하는 경우에는, 적어도 $(\ell_3 + \ell_2)/\ell_1$ 의 팩터만큼 A 종류 재료 내의 광자들의 평균 자유 경로를 초과해야 한다.

[0031] 위에서 언급한 바와 같이, 전체 배열은 또한, 컨버터 재료들이 광자 흡수 뿐 아니라 후속의 전자 가열에 의해 가열됨에 따라, 컨버터 재료들의 효과적인 냉각을 제공한다. 이 실시예의 총 표면적은, 도 4a에 도시된 바와 같이, 입사 광자 플럭스의 방향에 대해 수직인 방위 각도 ϕ 로 스택들을 적층하는 간단한 배열에 비해 $1/\theta$ 의 팩터로 확대되기 때문에, 냉각이 촉진된다. 구조물 내에 구축된 파이프들을 통해 압축 가스 냉매를 흐르게 하거나, 간단하게 스택들을 히트 싱크들에 연결하는 것 또한 가능하다. 본 기술분야의 당업자는 냉각을 향상시키기 위한 많은 다른 방식들이 존재하며, 특정 구현들이 구체적인 응용에 의해 지시된다는 것을 손쉽게 인식할 것이다.

[0032] 도 5에 도시된 컨버터 타일들(200)의 어셈블리(220)는, 그것이 가로막는 정합 표면(230)을 따라 배열될 수 있으며, 주어진 광자 플럭스 소스(240)로부터 방출되는 광자 플럭스(242)에 대해 실질적으로 수직이다. 이 구성은 방출된 광자 플럭스로부터의 에너지 생성을 요구할 수 있는 (또는 그것으로부터 이득을 얻을 수 있는) 광범위한 응용들에 대한 융통성 및 적응성을 제공한다.

[0033] 전형적인 응용들의 전반적인 기하의 다른 예들이 도 6a, 6b 및 6c에 도시된다. 도 6a는, 뜨거운 플라즈마로 도시된 광자 플럭스의 소스(340)로부터 방출되는 광자 플럭스(342)를 가로막고, 광자 플럭스(342)에 실질적으로

수직인 표면(334)을 갖는 원통형 챔버(330)를 포함하는 플라즈마 봉쇄 시스템(300)을 도시한다. 봉쇄 시스템(300)은 원통형 챔버(330)를 따라 배치되는 자기장 생성기(332), 및 챔버(330)의 표면(334)을 따라 부착되는 컨버터 타일들(200)의 어레이(332)를 더 포함한다. 타일들 각각은 광자 플럭스(342)의 입사 고에너지 광자들 v 의 전파 방향에 대해 그레이징 각도로 배향된다. 도 6b는, 뜨거운 플라즈마 또는 소모된 핵분열 연료봉들로 도시된 광자 플럭스의 소스(440)로부터 방출되는 광자 플럭스(442)를 가로막고, 광자 플럭스(442)에 실질적으로 수직인 표면(434)을 갖는 원통형 챔버(430)를 포함하는 봉쇄 시스템(400)을 도시한다. 봉쇄 시스템(400)은 컨테이너(430)의 표면(434) 주위에 부착된 컨버터 타일들(200)의 어레이(432)를 더 포함한다. 타일들 각각은 광자 플럭스(442)의 입사 고에너지 광자들 v 의 전파 방향에 대해 그레이징 각도로 배향된다. 도 6c는, 가속된 입자 빔으로 도시된 광자 플럭스의 소스(540)로부터 방출되는 광자 플럭스(542)를 가로막고, 광자 플럭스(542)에 실질적으로 수직인 표면(534)을 갖는 원통형 튜브(530)를 포함하는 입자 가속 시스템(500)을 도시한다. 가속 시스템(500)은 원통형 튜브(530)를 따라 배치되는 자기장 생성기(532), 및 튜브(530)의 표면(534) 주위에 부착된 컨버터 타일들(200)의 어레이(520)를 더 포함한다. 타일들 각각은 광자 플럭스(542)의 입사 고에너지 광자들 v 의 전파 방향에 대해 그레이징 각도로 배향된다.

[0034] 각각의 경우, 방출된 고에너지 광자들은 A 종류의 재료 내에서의 그것들의 평균 자유 경로보다 큰 집합 거리에 걸쳐 재료 A와 대면한다. 이는 A 종류의 층들 내에서의 원자들에 의한 방출된 고에너지 광자들의 적절한 흡수를 보장하고, 결국은 광자 전류의 전자 전류로의 증폭된 변환을 보장한다. 플럭스 방출 볼륨을 둘러싸는 A 종류의 재료는, 고에너지 광자 플럭스에 노출되는 표면적 전체를 밀집하여 커버함과 동시에, 냉각 및 전기 연결들을 가능하게 한다.

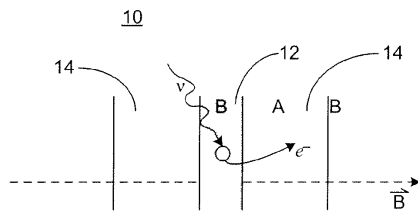
[0035] 본원에 제공되는 실시예들에 따라, 고에너지 광자들의 흡수 때문에 A 종류의 재료 내의 특정 원자로부터 복수의 전자가 방출된다는 것을 유념해야 한다. 이는, 특정한 깊은 전자 내부 쉘로부터 녹아아웃(knocked out)되는 전자는 베이컨시를 생성하는데, 베이컨시는 오거 프로세스에 의해 빠르게 채워지고, 이는 차례로 제2 및 제3 오거 프로세스 또는 연속적인 프로세스들을 유발하기 때문이다. 게다가, 제2 광자 재방출은 이웃하는 원자들에서 그러한 프로세스들을 더 유발할 수 있다. 따라서, 원칙적으로, 하나의 광자는 약 100개의 전자들(및 때로는 더 많은 전자들)의 집합 방출을 유발할 수 있다. 그러므로, 이 복수의 이온화는 이중의 이점들을 제공한다. 첫번째로, 그것은 원래의 입사 광자 당 전자들의 양을 100 내지 1000배로 증대시키는 역할을 하며, 이는 고전류 증폭을 야기한다. 두번째로, 그것은 전자 에너지를 수십 keV에서 단 수십 eV로 감소시키는 역할을 한다. 즉, 생성된 전압은 브레이크다운 거장에 관해 관리 가능하다. 이는 광자 에너지에서 전기로의 (그것의 전하 및 전류) 향상된 변환을 제공함과 동시에, 또한 목표물의 가열을 최소화한다. 실제로, 시스템은 광자 소스 옆에 위치하는 재료로부터 퇴적된 광자 에너지의 대부분을 제거함으로써 효과적인 냉각 수단의 역할을 하고, 변환된 에너지를 방사 부근에 있지 않은 원격 위치들에 손쉽게 전달한다.

[0036] 그러나, 본원에 제공된 실시예들은 단지 예시적인 예들로서 의도되며, 어떠한 방식으로든 제한적으로 의도되지 않는다. 더욱이, 본 기술분야의 당업자는, 파라미터들의 적합한 변형을 통해, 유사한 시스템들이 상이한 에너지들을 갖는 광자들에 동등하게 적응될 수 있다는 것을 손쉽게 인식할 것이다.

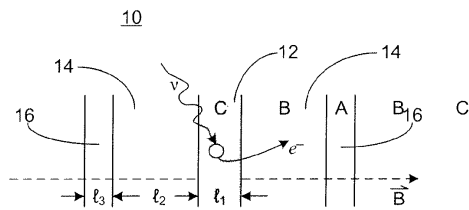
[0037] 전술한 명세서에서, 본 발명은 구체적인 실시예들을 참조하여 설명되었다. 그러나, 본 발명의 더 광범위한 정신 및 범위로부터 벗어나지 않으면서 다양한 변형들 및 변경들이 행해질 수 있다는 것이 명백해질 것이다. 예를 들어, 독자는 본원에 설명된 프로세스 흐름도들에 도시된 프로세스 동작들의 구체적인 순서 및 조합은 다르게 주장되지 않는 이상 단지 예시적일 뿐이며, 본 발명은 상이한 또는 추가적인 프로세스 동작들, 또는 프로세스 동작들의 상이한 조합 또는 순서를 사용하여 수행될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 다른 예로서, 일 실시예의 각각의 특징은 다른 실시예들에 보여진 다른 특징들과 혼합되고 매칭될 수 있다. 유사하게, 당업자들에게 공지된 특징들 및 프로세스들이 원하는 대로 통합될 수 있다. 추가적으로 또는 명백하게는, 원하는 대로 특징들이 부가되거나 차감될 수 있다. 따라서, 본 발명은 첨부된 청구항들 및 그 등가물들에 따른 경우를 제외하고는 한정되지 않아야 한다.

도면

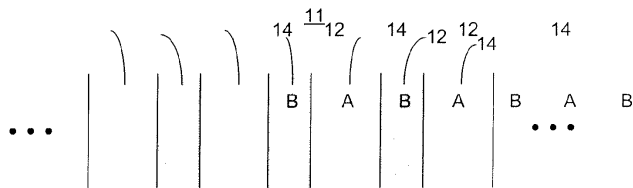
도면1a



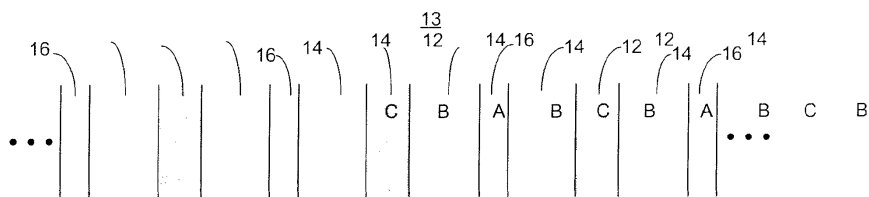
도면1b



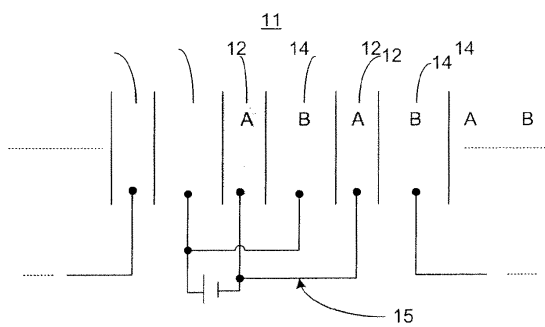
도면1c



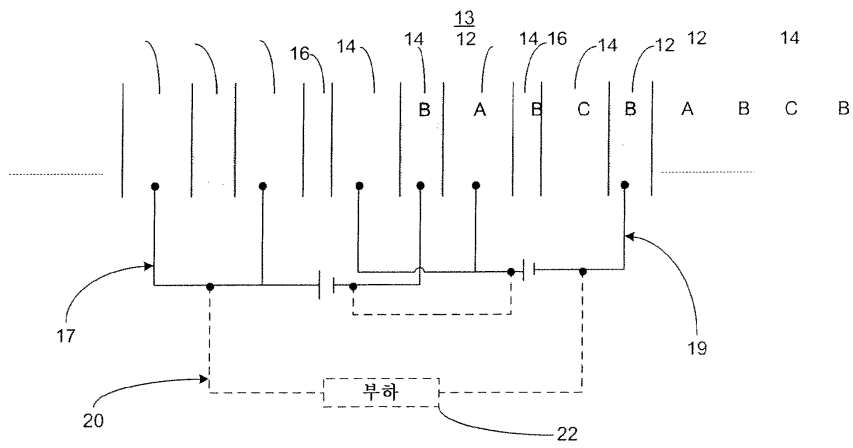
도면1d



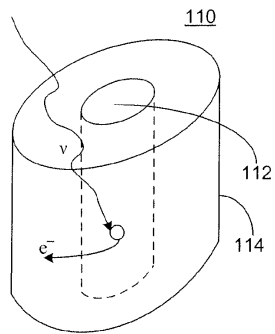
도면1e



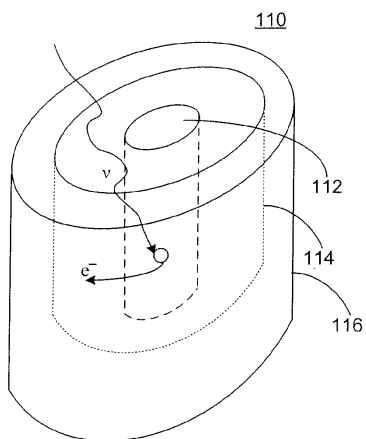
도면1f



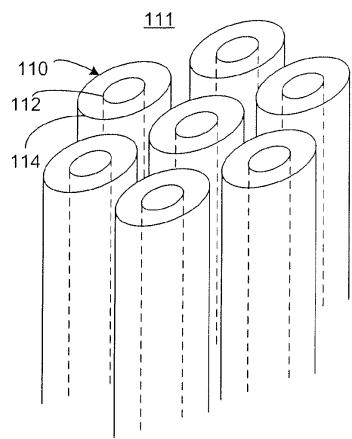
도면2a



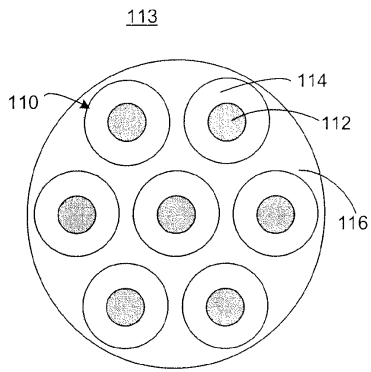
도면2b



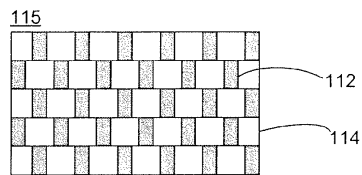
도면2c



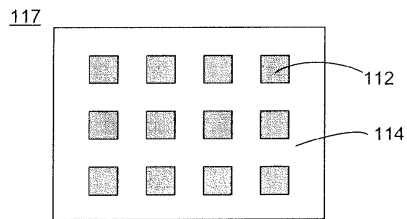
도면2d



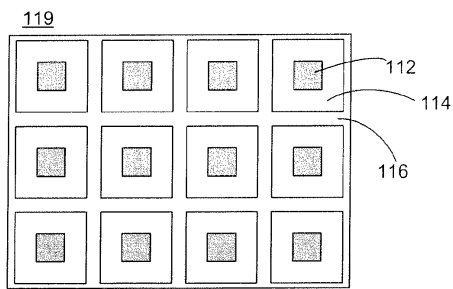
도면2e



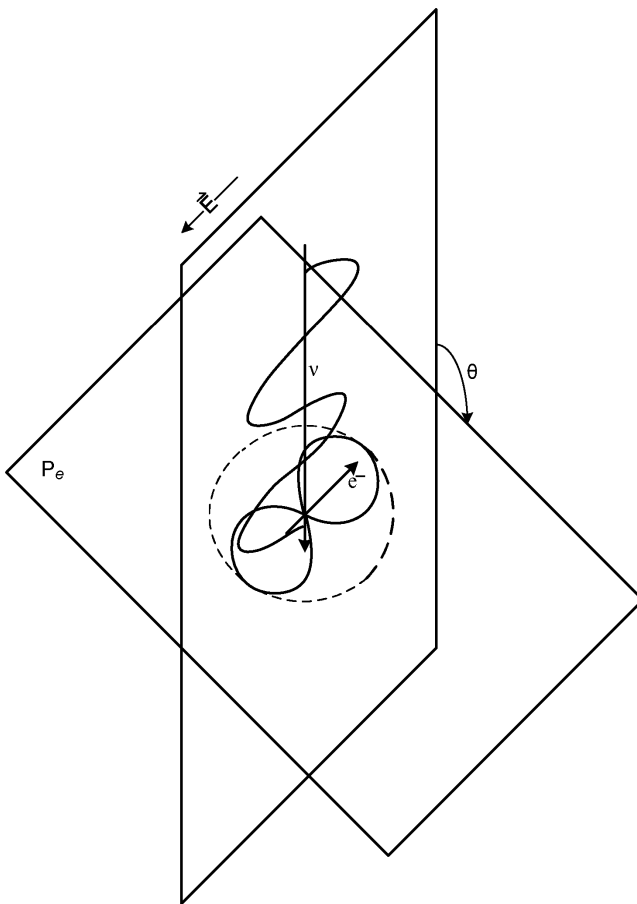
도면2f



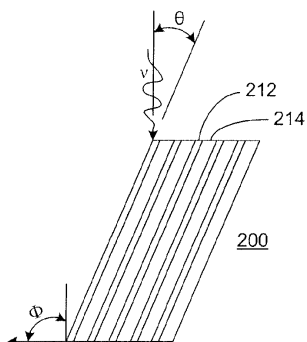
도면2g



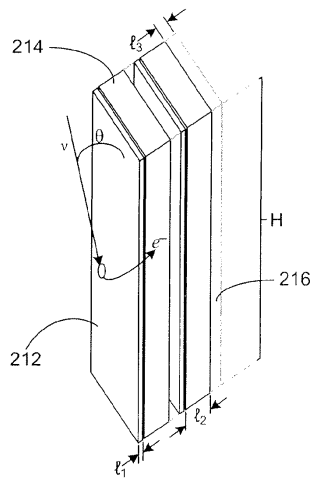
도면3



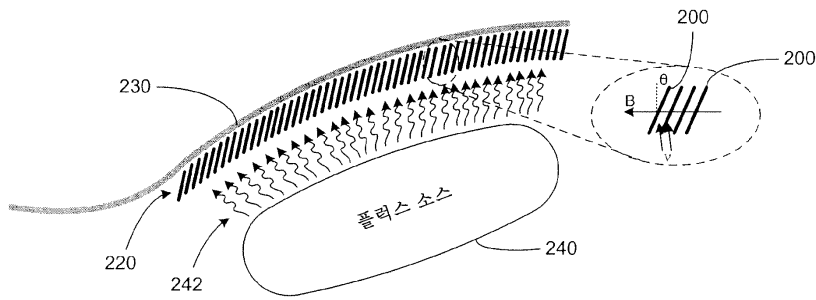
도면4a



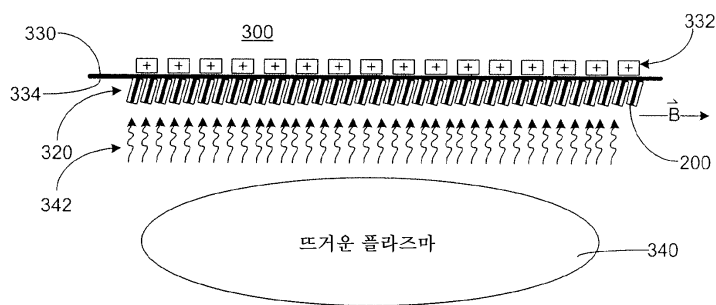
도면4b



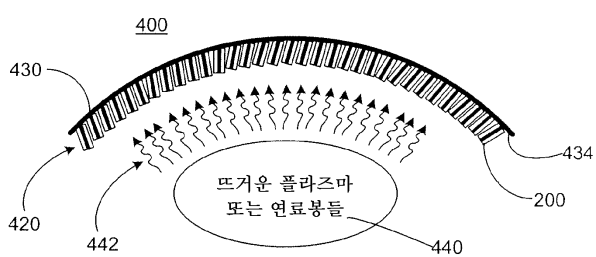
도면5



도면6a



도면6b



도면6c

