



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년07월06일
(11) 등록번호 10-1533628
(24) 등록일자 2015년06월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H05B 6/64 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0130909

(22) 출원일자 2013년10월31일

심사청구일자 2013년10월31일

(65) 공개번호 10-2015-0049841

(43) 공개일자 2015년05월08일

(56) 선행기술조사문헌

JP2002504668 A

JP2898646 B2

JP2011150911 A

JP2004031222 A

(73) 특허권자

한국전기연구원

경상남도 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)

(72) 발명자

정순신

경기 안산시 상록구 해양1로 30, 712동 1802호 (사동, 안산고잔7차푸르지오)

김대호

경상남도 김해시 장유면 율하2로 57 율상마을푸르지오3단지아파트 305동 1204호

설승권

서울특별시 노원구 노원로1길 21 공릉9단지 청솔아파트 902동 103호

(74) 대리인

특허법인충정

전체 청구항 수 : 총 16 항

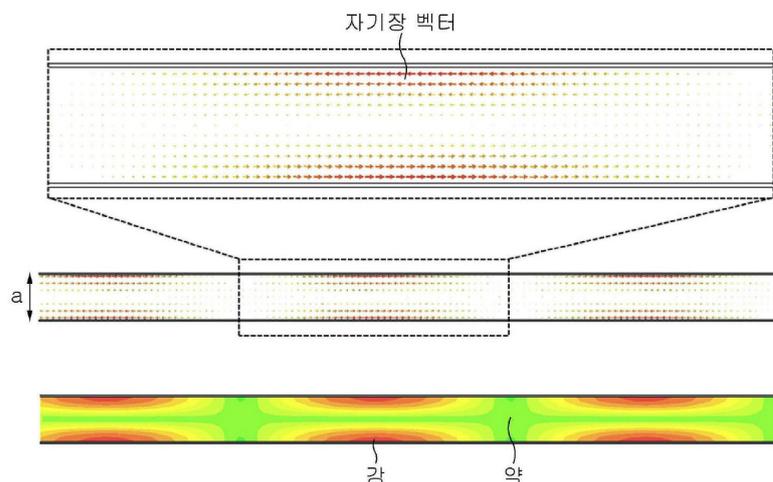
심사관 : 설관식

(54) 발명의 명칭 마이크로파 자기장을 이용한 대면적 가열 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명은 차단 근접(near-cutoff) 조건의 도파관 내에서 마이크로파 자기장을 이용하여 대면적의 피가열물을 균일하게 가열시킬 수 있는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 장치 및 가열 방법에 관한 것이다. 본 발명에 의하면 마이크로파 전기장의 세기는 무시할 수 있고 마이크로파 자기장이 강해지는 차단 근접 조건 도파관의 측벽 부근에서 피가열물을 가열하므로, 마이크로파 전기장에 의한 가열이나 플라즈마 발생 등이 없이 마이크로파 자기장에 의해 강자성 물질만을 선택적으로 가열할 수 있는 효과가 있다.

대표도



명세서

청구범위

청구항 1

차단 근접 조건 도파관 내에서 피가열물을 마이크로파 자기장에 의해 가열하기 위한 가열장치로서,
 파장 조절 공간이 형성된 도파관;
 상기 도파관의 길이 방향으로 마이크로파를 입사하기 위한 마이크로파 발생기;
 상기 파장 조절 공간에서 상기 마이크로파의 파장은 자유공간 파장(λ_0)의 2배 이상이고, 상기 피가열물은 상기 파장 조절 공간 내에서 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열되며, 상기 파장 조절 공간에서의 도파관 폭방향 길이(a)의 1/4 이내의 거리만큼 도파관의 측벽으로부터 떨어진 위치에서 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
 고체 상태 물체로서 상기 도파관 내의 일정 공간을 점유하도록 구비되어 상기 도파관 내에 상기 파장 조절 공간을 형성하도록 하는 파장 조절기를 더 구비하고,
 상기 파장 조절기에는 길이 방향으로 적어도 어느 한쪽 끝에 경사면이 형성되어 상기 파장 조절 공간에 인접하여 매칭 영역이 형성되도록 하는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열장치.

청구항 3

제2항에 있어서,
 상기 파장 조절기는 이동 가능하도록 구비되어, 상기 파장 조절 공간에서의 도파관 폭방향 길이(a)를 조절할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열장치.

청구항 4

제1항에 있어서,
 상기 도파관에는 피가열물을 도파관 내에 투입하기 위한 피가열물 투입구가 더 구비되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열장치.

청구항 5

제4항에 있어서,
 상기 피가열물 투입구는 상기 도파관의 상측벽에 슬릿 형상으로 형성되고,
 상기 도파관의 하측벽에는 상기 피가열물 투입구와 대응되는 위치에 슬릿 형상의 피가열물 배출구가 형성되어,
 상기 피가열물 투입구로 투입된 피가열물이 상기 파장 조절 공간 내에서 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열된 후 상기 피가열물 배출구로 배출되도록 한 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열장치.

청구항 6

제1항 또는 제2항에 있어서,
 상기 파장 조절 공간 내 상기 피가열물의 위치를 포함하는 격리공간이 형성되도록 상기 도파관 측벽에 접합 또는 결합되어 설치되는 유전체 차단벽을 더 포함하며,
 상기 격리공간은 외부와 기체 및 액체 기밀 가능한 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 도파관에는, 상기 격리공간에 기체 또는 액체를 넣고 빼거나, 진공을 형성하기 위한 포트가 구비되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열장치.

청구항 8

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 파장 조절 공간을 통과한 마이크로파를 반사시켜 상기 파장 조절 공간 쪽으로 다시 진행시키기 위한 반사판을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 장치.

청구항 9

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 도파관의 어느 한쪽 이상의 끝 부분에 형성된 급전부와 상기 파장 조절 공간 사이에 형성되며, 상기 도파관의 높이 방향으로 관로 크기가 변이되도록 형성된 변이부를 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 장치.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 차단 근접 조건 도파관의 상부 또는 하부에 하나 이상 배치되며, 각각이 상기 차단 근접 조건 도파관의 피가열물 투입구 및 피가열물 배출구와 동일한 위치에 슬릿 형태의 피가열물 투입구 및 피가열물 배출구를 구비하여 피가열물이 각 도파관을 순차적으로 통과할 수 있도록 하는 차단 근접 조건 또는 차단 조건의 도파관을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 장치.

청구항 11

차단 근접 조건 도파관 내에서 피가열물을 마이크로파 자기장을 이용하여 가열하기 위한 가열 방법으로서,

상기 도파관 내에는 마이크로파의 파장이 자유공간 파장(λ_0)의 2배 이상인 파장 조절 공간이 형성되며,

상기 피가열물을 상기 파장 조절 공간에서의 도파관 폭방향 길이(a)의 1/4 이내의 거리만큼 도파관의 측벽으로부터 떨어진 위치에 투입하고, 상기 도파관 내에 마이크로파를 입사하여 상기 피가열물이 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열되도록 하는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 피가열물은 적어도 부분적으로 강자성 물질을 포함하고 있고,

상기 강자성 물질만이 상기 마이크로파 자기장에 의하여 선택적으로 가열되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 방법.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 강자성 물질은 실리콘 기관 위에 스크린 프린팅으로 형성된 도전성 패턴에 포함되고,

상기 마이크로파 자기장에 의해 상기 실리콘 기관은 가열되지 않고 상기 도전성 패턴만이 선택적으로 가열되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 방법.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 강자성 물질은 진공 분위기 내의 니켈 포일 또는 메쉬이고,

상기 마이크로파 자기장에 의해 상기 진공 분위기 내에 기체 방전 또는 플라즈마가 발생하는 일 없이 상기 니켈 포일 또는 메쉬만 선택적으로 가열되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 가열에 의해 상기 니켈 포일 또는 메쉬 위에 그래핀 박막이 형성되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 방법.

청구항 16

제12항에 있어서,

상기 강자성 물질은 극성 용매 내에 포함된 용질이고,

상기 마이크로파 자기장에 의해 상기 극성 용매는 가열되지 않고 상기 용질만 선택적으로 가열되는 것을 특징으로 하는 마이크로파 자기장을 이용한 가열 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 마이크로파 자기장을 이용한 대면적 가열 장치 및 방법에 관한 것으로서, 특히 차단 근접(near-cutoff) 조건의 도파관 내에서 마이크로파 자기장을 이용하여 가열하고자 하는 대면적의 피가열물 중 특정 구조 내지 물질의 선택적인 가열이 가능하도록 한 마이크로파 가열 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 마이크로파(예, 주파수 300MHz ~ 300GHz)를 이용한 가열은, 피가열물에서 에너지가 손실되면서 피가열물을 가열하는 유전손실에 의한 유전 가열(dielectric heating), 또는 피가열물에 전도 전류(conduction current)를 발생시켜 저항 성분에서 피가열물을 가열하는 전도전류에 의한 주울 가열(Joule heating)로 이루어진다.

[0003] 도 1은 도파관 내에서 피가열물을 가열하기 위한 종래의 마이크로파 가열 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[0004] 도 1의 (a)와 같이, 도파관 내의 관형 또는 필름 형태의 피가열물을 가열하기 위하여 마이크로파를 도파관 내로 진행시키는 경우, 도면에서 z방향으로 진행하는 마이크로파에 의해 피가열물은 유전 가열(dielectric heating) 또는 주울 가열(Joule heating) 방식으로 가열될 수 있다.

[0005] 그러나 종래의 마이크로파 가열방식은 마이크로파의 전기장을 이용하므로 도체 및/또는 유전체 물질들이 공존 내지 혼재되어 있는 피가열물 중 특정 물질 또는 구조만을 선택적으로 가열하기는 어렵다. 예를 들어 실리콘 태양전지 제조 시에 도핑된 실리콘 웨이퍼 상에 반사방지막(ARC; Anti-Reflection Coating)을 형성 후 그 위에 도전성 패턴을 형성함에 있어 도전성 패턴만을 선택적으로 가열하거나, 극성이 강하거나 도전성이 큰 액상 용매 내의 강자성 용질만을 선택적으로 가열하고 싶은 경우, 종래의 마이크로파 가열방식은 적당한 방법이 아니었다.

[0006] 또한, 종래의 마이크로파 가열방식은 대면적 가열에는 적합하지 않은 문제가 있었다. 가령 도 1에서 피가열물의 너비 방향이 z방향으로 놓여 있는 경우에, 피가열물의 두께(x방향)가 마이크로파 파장에 비해 매우 작고, 도 1의 (b)와 같이 TE(transverse electric)모드인 경우, 마이크로파에 의해 y방향으로 발생하는 전기장의 크기가 z방향의 위치에 따라 균일하지 않아 마이크로파 진행 상태에 따라 피가열물의 가열 균일도가 달라질 수 있다. 즉, 피가열물의 z방향 길이가 마이크로파 파장의 1/4보다 커지면 z방향의 위치에 따라 피가열물의 가열이 균일하지 않게 되는 문제점이 있다.

[0007] 도 2는 종래의 마이크로파 가열 방식에서 도파관 내 피가열물의 마이크로파 진행 방향 위치에 따른 전력 전달 분포를 설명하기 위한 도면이다.

[0008] 도 2의 (a)와 같이, 마이크로파가 피가열물을 따라 진행하면서 전력 손실이 발생하여 마이크로파 전력 감쇠(attenuation)가 일어나고, 이에 따라 피가열물의 z방향 위치에 따른 전력 차이에 의해 가열이 불균일해지는 문제점이 존재한다. 특히, 도 2의 (b)와 같이, 마이크로파 파장(예, 1.0mm~1.0m)이 피가열물의 크기(예, 4.3cm×

5cm)보다 상당히 크지 않을 경우에 피가열물 내에서 z방향 위치에 따라 마이크로파 전력 크기가 달라져 불균일 가열이 심해지게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 따라서, 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은, 마이크로파의 자기장을 이용하여 피가열물 중 특정 구조 또는 특정 물질을 선택적으로 가열할 수 있는 마이크로파 가열 장치 및 방법을 제공하는데 있다.
- [0010] 또한, 진행파의 폭방향 경로를 제한하는 차단 근접(near-cut-off) 조건에 기초하여 도파관 내에 마이크로파 파장이 길어지는 파장 조절 공간을 형성함으로써 마이크로파의 자기장을 이용하여 대면적의 피가열물을 균일하게 가열시킬 수 있는 마이크로파 가열 장치 및 방법을 제공하는 데 또 다른 목적이 있다.
- [0011] 이외에도, 반사수단에 의해 마이크로파를 반사하거나 도파관 양측에서 마이크로파를 입사하여 마이크로파 진행 방향으로의 가열 균일성을 더욱 향상시키거나, 차단 근접 조건의 도파관과 다른 차단 근접 또는 차단 조건의 도파관을 조합하여 연속 투입되는 피가열물의 가열 균일성을 향상시킬 수 있는 마이크로파 가열 장치 및 방법을 제공하는 데 또 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일측면에 따른 가열장치는, 차단 근접 조건 도파관 내에서 피가열물을 마이크로파 자기장에 의해 가열하기 위한 가열장치로서, 파장 조절 공간이 형성된 도파관, 상기 도파관의 길이 방향으로 마이크로파를 입사하기 위한 마이크로파 발생기, 상기 파장 조절 공간에서 상기 마이크로파의 파장은 자유공간 파장(λ_0)의 2배 이상이고, 상기 피가열물은 상기 파장 조절 공간 내에서 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열되며, 상기 파장 조절 공간에서의 도파관 폭방향 길이(a)의 1/4 이내의 거리만큼 도파관의 측벽으로부터 떨어진 위치에서 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열되는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 고체 상태 물체로서 상기 도파관 내의 일정 공간을 점유하도록 구비되어 상기 도파관 내에 상기 파장 조절 공간을 형성하도록 하는 파장 조절기를 더 구비하고, 상기 파장 조절기에는 길이 방향으로 적어도 어느 한쪽 끝에 경사면이 형성되어 상기 파장 조절 공간에 인접하여 매칭 영역이 형성되도록 할 수 있다. 여기서, 상기 파장 조절기는 이동 가능하도록 구비되어, 상기 파장 조절 공간에서의 도파관 폭방향 길이(a)를 조절할 수 있도록 하는 것도 가능하다.
- [0014] 또한, 상기 도파관에는 피가열물을 도파관 내에 투입하기 위한 피가열물 투입구가 더 구비될 수 있으며, 상기 피가열물 투입구는 상기 도파관의 상측벽에 슬릿 형상으로 형성되고, 상기 도파관의 하측벽에는 상기 피가열물 투입구와 대응되는 위치에 슬릿 형태의 피가열물 배출구가 형성되어, 상기 피가열물 투입구로 투입된 피가열물이 상기 파장 조절 공간 내에서 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열된 후 상기 피가열물 배출구로 배출되도록 할 수 있다. 이때, 상기 차단 근접 조건 도파관의 상부 또는 하부에 하나 이상 배치되며, 각각이 상기 차단 근접 조건 도파관의 피가열물 투입구 및 피가열물 배출구와 동일한 위치에 슬릿 형태의 피가열물 투입구 및 피가열물 배출구를 구비하여 피가열물이 각 도파관을 순차적으로 통과할 수 있도록 하는 차단 근접 조건 또는 차단 조건의 도파관을 더 포함할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 파장 조절 공간 내 상기 피가열물의 위치를 포함하는 격리공간이 형성되도록 상기 도파관 측벽에 접합 또는 결합되어 설치되는 유전체 차단벽을 더 포함하며, 상기 격리공간은 외부와 기체 및 액체 기밀 가능하도록 할 수 있다. 이때, 상기 도파관에는, 상기 격리공간에 기체 또는 액체를 넣고 빼거나, 진공을 형성하기 위한 포트가 구비될 수 있다.
- [0016] 또한, 본 발명에 따른 가열장치는, 상기 파장 조절 공간을 통과한 마이크로파를 반사시켜 상기 파장 조절 공간 쪽으로 다시 진행시키기 위한 반사판을 더 구비할 수 있으며, 상기 도파관의 어느 한쪽 이상의 끝 부분에 형성된 급전부와 상기 파장 조절 공간 사이에 형성되어 상기 도파관의 높이 방향으로 관로 크기가 변이되도록 형성된 변이부를 포함할 수 있다.
- [0017] 본 발명의 다른 측면에 따른 마이크로파 자기장을 이용한 가열 방법은, 차단 근접 조건 도파관 내에서 피가열물

을 마이크로파 자기장을 이용하여 가열하기 위한 가열 방법으로서, 상기 도파관 내에는 마이크로파의 파장이 자유공간 파장(λ_0)의 2배 이상인 파장 조절 공간이 형성되며, 상기 피가열물을 상기 파장 조절 공간에서의 도파관 폭방향 길이(a)의 1/4 이내의 거리만큼 도파관의 측벽으로부터 떨어진 위치에 투입하고, 상기 도파관 내에 마이크로파를 입사하여 상기 피가열물이 상기 마이크로파 자기장에 의해 가열되도록 하는 것을 특징으로 한다.

- [0018] 여기서, 상기 피가열물은 적어도 부분적으로 강자성 물질을 포함하고 있고, 상기 강자성 물질만이 상기 마이크로파 자기장에 의하여 선택적으로 가열될 수 있다.
- [0019] 이때, 상기 강자성 물질은 실리콘 기판 위에 스크린 프린팅으로 형성된 도전성 패턴에 포함되고, 상기 마이크로파 자기장에 의해 상기 실리콘 기판은 가열되지 않고 상기 도전성 패턴만이 선택적으로 가열되는 방법일 수 있다.
- [0020] 또한, 상기 강자성 물질은 진공 분위기 내의 니켈 포일 또는 메쉬이고, 상기 마이크로파 자기장에 의해 상기 진공 분위기 내에 기체 방전 또는 플라즈마가 발생하는 일 없이 상기 니켈 포일 또는 메쉬만 선택적으로 가열되는 방법일 수 있으며, 상기 가열에 의해 상기 니켈 포일 또는 메쉬 위에 그래핀 박막이 형성되는 가열 방법일 수 있다.
- [0021] 또한, 상기 강자성 물질은 극성 용매 내에 포함된 용질이고, 상기 마이크로파 자기장에 의해 상기 극성 용매는 가열되지 않고 상기 용질만 선택적으로 가열되는 가열 방법일 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명에 따른 마이크로파 가열 장치 및 방법에 따르면, 마이크로파의 자기장을 이용하여 피가열물 중 특정 구조 또는 특정 물질을 선택적으로 가열할 수 있는 효과가 있다.
- [0023] 또한, 도파관 내에서 진행하는 마이크로파의 폭방향 경로를 제한하는 차단 근접(near-cutoff) 조건에 기초하여 도파관 내에서 마이크로파 파장이 길어지도록 조절함으로써 마이크로파의 자기장을 이용하여 대면적의 피가열물을 균일하게 가열시킬 수 있으며, 도파관 양측 중 어느 한 쪽 이상에 가로/세로 관로 변이 부분을 두어 관로를 확대시키되 임피던스 매칭이 이루어지도록 함으로써 처리 대상 피가열물의 증가된 크기에 대하여도 균일하게 가열시킬 수 있는 효과가 있다.
- [0024] 또한, 반사수단에 의해 마이크로파를 반사하거나 도파관 양측에서 마이크로파를 입사하여 마이크로파 진행 방향으로의 가열 균일성을 더욱 향상시킬 수 있는 효과가 있다.
- [0025] 또한, 차단 근접 조건의 도파관과 다른 차단 근접 또는 차단 조건의 도파관을 조합하여 연속 투입되는 피가열물의 가열 균일성을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 도파관 내 피가열물을 가열하기 위한 종래의 마이크로파 가열 방식을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 2는 종래의 마이크로파 가열 방식에서 도파관 내 피가열물의 마이크로파 진행 방향 위치에 따른 전력 전달 분포를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 3은 일반적인 도파관 내에 형성되는 기본 모드인 TE₁₀ 모드의 전기장과 자기장의 벡터와 세기에 대한 시뮬레이션 결과이다.
- 도 4는 차단 근접 조건에서의 도파관 내 자기장 벡터와 세기에 대한 시뮬레이션 결과이다.
- 도 5는 차단 근접 조건의 개념을 설명하기 위하여 도파관의 폭방향 길이에 대한 도파관 내 마이크로파 파장 변화를 나타내는 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 차단근접 조건의 도파관을 갖는 가열장치의 개념을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 차단근접 조건의 도파관을 갖는 가열장치의 구성을 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 도 6 및 도 7의 반사판의 효과를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 9는 도 6 및 도 7의 반사판의 동작 형태를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 10a는 차단 근접 조건의 도파관의 양쪽에 변이부를 갖는 본 발명의 다른 실시예에 따른 가열장치를 설명하기

위한 도면이다.

도 10b는 차단 근접 조건의 도파관의 한쪽에 변이부를 갖는 본 발명의 다른 실시예에 따른 가열장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 10c는 도 10a의 반사판 대신에 반대쪽에서도 마이크로파를 입사하는 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 11은 도파관에 마이크로파를 입사하기 위한 부가 회로를 포함한 가열장치의 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 12는 도파관에 마이크로파를 입사하기 위한 다른 부가 회로를 포함한 가열장치의 또 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 13은 도파관에 마이크로파를 입사하기 위한 또 다른 부가 회로를 포함한 가열장치의 또 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 14는 도파관에 마이크로파를 입사하기 위한 또 다른 부가 회로를 포함한 가열장치의 또 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.

도 15는 본 발명의 다른 실시예에 따른 마이크로파 가열장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 16은 차단 근접 조건의 도파관 내에 유전체 차단벽이 구비된 본 발명의 다른 실시예에 따른 가열장치를 설명하기 위한 도면이다.

도 17은 본 발명에 따른 가열장치를 실리콘 태양전지의 도전성 패턴 선택가열에 적용하는 제1 적용예를 설명하기 위한 도면이다.

도 18은 본 발명에 따른 가열장치를 니켈 포일 위에 그래핀 박막을 형성하는 데에 적용하는 제2 적용예를 설명하기 위한 도면이다.

도 19는 본 발명에 따른 가열장치를 극성 용매 내의 강자성 물질 선택 가열에 적용하는 제3 적용예를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하 첨부 도면들 및 첨부 도면들에 기재된 내용들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하지만, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다.

[0028] 도 3은 일반적인 도파관 내에 형성되는 기본 모드인 TE₁₀ 모드의 전기장과 자기장의 벡터와 세기에 대한 시뮬레이션 결과이다. 도 3(a)를 보면 마이크로파가 z-방향으로 진행하는 도파관 내에서 전기장 세기는 도파관의 중앙 영역에서 강하고 도파관의 측벽에 가까워질수록 약해지는 반면, 도 3(b)를 보면 자기장 세기는 도파관의 측벽에서도 강해지는 영역이 존재함을 알 수 있다. 즉, 마이크로파의 전기장과 자기장은 도파관 내에서 수직(orthogonal) 관계를 가지면서 공존하지만 전기장과 자기장 세기가 강한 영역은 서로 공간적으로 구분된다.

[0029] 특히 도파관의 폭방향(x방향) 길이(a)를 감소시킨 차단 근접 조건(near-cutoff condition)에서는 일반 도파관과 비교할 때 자기장 분포에 특이한 점이 발견되는데, 이를 차단 근접 조건에서의 도파관 내 자기장 벡터와 세기에 대한 시뮬레이션 결과인 도 4를 참조하여 설명한다. 도 4를 보면, 차단 근접 조건 도파관 내에서는 TE₁₀ 모드의 자기장의 세기가 강한 영역이 측벽 쪽에만 존재하고, 자기장의 방향도 대부분 측벽과 나란한 방향이며 수직한 방향은 매우 약하며, 자기장이 강한 영역의 길이도 일반 도파관에 비해 더 길다는 점을 알 수 있다. 또한, 도 4에는 표시하지 않았으나, 차단 근접 조건 도파관 내에서도 전기장은 자기장과 서로 수직(orthogonal) 관계를 가지면서 세기가 강한 영역이 서로 구분되며, 일반 도파관과 마찬가지로 측벽에 가까워질수록 전기장의 세기는 감소한다.

[0030] 본 발명은 이러한 발견에 착안한 것으로서, 차단 근접 조건의 도파관 내에 자기장이 강하게 형성되는 영역에 피가열물을 위치시킴으로써, 마이크로파 전기장의 영향을 받지 않고 피가열물 중 강자성을 띠는 구조 또는 물질만을 선택적으로 가열할 수 있도록 하고, 특히 자기장이 강하게 형성되는 영역의 길이가 일반 도파관에 비해 길므로 대면적의 피가열물을 용이하게 가열할 수 있도록 한 것이다.

[0031] 도 5는 차단 근접 조건의 개념을 설명하기 위하여 도파관의 폭방향(x방향) 길이(a)에 대한 도파관 내 마이크로파 파장 변화를 나타내는 그래프이다.

[0032] 예를 들어, 도 5와 같이 도파관의 높이(b)를 입사되는 마이크로파 파장 이상의 일정 높이로 한 상태에서 도파관의 폭방향 길이(a)를 줄이면서 일정 마이크로파(예, 주파수 2.45GHz)를 도파관 내로 진행시킬 때, 도파관의 폭방향 길이(a)가 작아짐에 따라 아래 [수학식]과 같이 도파관 내에서 진행되는 마이크로파(예, 주파수 2.45GHz)의 파장은 점점 길어진다. 여기서, λ_0 는 자유 공간에서의 마이크로파 파장, λ_g 는 단면이 직사각형인 도파관 내에서 TE₁₀ 모드로 진행되는 마이크로파 파장이다.

[0033] [수학식]

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (\lambda_0/2a)^2}}$$

[0034]

[0035] 예를 들어, 도파관 내로 진행시키는 마이크로파의 주파수가 2.45GHz일 때, λ_0 는 12.2cm이며, a=109.2mm(예, WR430 도파관 규격) 일때 λ_g =147.8mm이고, a=61.6mm 일 때 λ_g =1110.7mm이다. 즉, 도파관의 폭방향 길이(a)를 작게 할 경우 도파관 내 마이크로파 파장을 자유공간 파장의 2.0 ~ 100배 이상으로 길어지게 할 수 있다. 도파관의 폭방향 길이(a)를 마이크로파 자유공간 파장의 절반으로 무한히 작게 하는 경우 이론상 도파관 내의 마이크로파의 파장도 무한히 길어져 마이크로파에 의한 에너지 전달이 차단(cutoff)된다. 따라서, 마이크로파를 이용하여 피가열물을 가열하기 위해서는 적절한 에너지 전달이 가능한 차단 근접(near-cutoff) 조건을 마이크로파의 자유공간 파장의 2.0 ~ 100배 정도로 하는 것이 바람직하며, 경우에 따라서는 마이크로파 파장이 100배 이상으로 길어지는 차단 근접 조건 범위가 사용될 수도 있다. 본 발명에서 차단 근접 조건이라 함은 도파관 내 마이크로파의 파장이 자유공간 파장(λ_0)의 2배 이상인 경우로 정의하도록 한다.

[0036] 본 발명의 일실시예에 따른 차단 근접 조건의 도파관을 갖는 마이크로파 가열장치를 도 6 및 도 7을 참조하여 설명한다.

[0037] 도 6 및 도 7을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로파 가열장치는, 피가열물을 넣기 위한 도파관(10)과 도파관(10) 내에 구비되는 파장 조절기(11)를 포함하며, 반사판(12)이 더 포함될 수 있다. 도파관(10)은 도면에 도시한 바와 같이 마이크로파 진행방향(z방향)에 수직하게 자른 단면이 직사각형 형태이고 그 내부로 마이크로파가 진행될 수 있도록 속이 비어 있는 형태로서, 금속 등의 재질로 이루어질 수 있다.

[0038] 본 발명의 일실시예에 따른 마이크로파 가열장치는, 도파관(10) 내로 마이크로파(예, 주파수 300MHz ~ 300GHz, 또는 파장 1.0mm~1.0m)를 길이 방향(z방향)으로 진행시켜 도파관(10) 내의 피가열물을 가열하기 위한 것으로서, 파장 조절기(11)가 도파관(10) 내의 일정 공간을 점유함으로써 파장 조절기(11)가 위치한 구간은 도파관(10)의 폭방향 길이(a)가 줄어드는 효과가 발생한다. 이때 파장 조절기(11)가 위치한 구간의 도파관(10) 폭방향 길이(a)는 차단 근접 조건이 충족되는 길이이다. 이러한 구성에 의하면, 파장 조절기(11)에 의해 폭방향 길이(a)가 감소된 마이크로파의 진행 공간(22)으로 마이크로파가 지나갈 때 폭방향 길이(a)가 감소된 공간(파장 조절 공간)(22)으로 진입하기 전의 파장보다 마이크로파의 파장이 길어지게 되고, 도 4에 도시한 것처럼 도파관의 측벽 부근에 자기장이 강한 영역이 길게 형성되게 되므로, 마이크로파가 지나가는 해당 파장 조절 공간(22) 상에 놓인 피가열물이 도파관 길이방향(z 방향) 위치별로 균일하게 가열되도록 할 수 있으며, 보다 대면적의 피가열물에 적용할 수 있게 된다. 바람직하게는, 피가열물의 z 방향 길이보다 마이크로파 파장의 1/4이 더 길도록 파장 조절 공간(22)의 폭방향 길이(a)를 조절할 수 있다.

[0039] 또한, 자기장의 세기는 측벽에 가까울수록 강해지므로, 피가열물의 위치는 측벽으로부터 파장 조절 공간의 폭방향 길이(a)의 1/4 이내인 것이 바람직하며, 따라서 피가열물을 도파관 내에 투입하기 위한 피가열물 투입구(15)의 위치는 피가열물이 도파관 측벽으로부터 파장 조절 공간의 폭방향 길이(a)의 1/4 이내에 위치하도록 결정되는 것이 바람직하다. 이때 피가열물 투입구(15)의 구조 및 형상은 특별히 제한하는 것은 아니지만, 도 7과 같이 슬릿 형상으로 형성하고 반대면에 피가열물 배출구(미도시)를 형성하여, 판형, 필름 또는 시트(sheet) 형태

의 피가열물이 연속적으로 투입/배출되면서 가열될 수 있도록 할 수 있다. 여기서, 관형, 필름 또는 쉬트 형태의 피가열물을 롤(roll) 형태로 준비하고, 기계적 장치(예, 모터 등)를 이용해 자동으로 롤(roll) 형태의 피가열물을 상기 피가열물 투입구(15)로 일정 길이씩 밀어넣고 가열조건에 따라 일정 시간 동안 도파관(10) 내에서 가열이 끝나면 가열된 부분만큼 피가열물을 피가열물 배출구(미도시)를 통해 배출하는 방식으로 자동 작동하도록 할 수 있다. 또는, 피가열물을 피가열물 투입구(15)로 일정 속도로 연속적으로 밀어넣고 피가열물 배출구(미도시)를 통해 연속적으로 배출하는 방식으로 자동 작동하도록 할 수도 있다.

[0040] 한편 파장 조절기(11)는, 길이 방향(z 방향) 앞 또는 뒤에 경사진 면 형태의 매칭 영역(21, 23)을 포함하도록 제작될 수 있다. 즉, 파장 조절기(11)가 단순히 직육면체 형태로 만들어지는 경우 마이크로파가 파장 조절 공간(22)에 진입하면서 반사되어 이에 따라 마이크로파가 파장 조절 공간(22)으로 전달되는데 방해가 될 수 있다. 이는 후술하는 반사판(12)에서 반사되는 마이크로파도 마찬가지이다. 따라서, 파장 조절기(11)에 길이 방향(z 방향) 앞 또는 뒤에 폭 방향 공간을 점차로 줄여주기 위한 경사진 면 형태의 매칭 영역(21, 23)이 포함되도록 함으로써, 도파관(10) 입구쪽에서 입사되거나 반사판(12)에서 반사되어 나오는 마이크로파의 반사를 줄이며 마이크로파의 전달성을 높일 수 있게 된다.

[0041] 한편, 파장 조절기(11)는 도 6과 같이, 도파관(10)의 내벽 일부로서 도파관(10)과 일체화되어 구성되는 형태가 될 수 있다. 즉, 도파관(10)의 한쪽 벽에 파장 조절기(11) 모양의 돌출 부분을 가지도록 설계될 수 있으며, 이에 따라 해당 돌출 부분과 반대쪽 벽 사이의 공간(파장 조절 공간) 내에 피가열물을 넣고 가열할 수 있다.

[0042] 또한, 파장 조절기(11)는 도 7과 같이, 도파관(10) 내에서 이동 가능하도록 설치될 수도 있으며, 이는 파장 조절 공간(22)의 폭방향 길이(a)를 조절할 수 있다는 점에서 유용하다. 파장 조절기(11)를 이동 가능하게 하는 구성은 다양한 형태로 구현할 수 있으나, 예를 들어 도 7과 같이 파장 조절기(11) 한쪽 측면에 부착되어 도파관(10) 외부로 돌출되는 위치 조절 수단(16)을 이용해 마이크로파가 지나가는 파장 조절 공간(22)의 폭방향 길이(a)를 조절할 수 있다. 이와 같은 파장 조절기(11)의 이동은 수동으로 할 수도 있음은 물론, 모터 등의 기계장치를 설치하여 자동으로 이루어지도록 할 수도 있다. 도 7과 같이 파장 조절기(11)를 이동 가능하게 하는 경우, 피가열물의 크기 등 가열 조건에 따라 파장 조절 공간(22)을 늘리거나 줄여서 마이크로파 파장이 차단 근접 조건 범위의 어떤 적절한 파장값을 갖도록 맞출 수 있는 장점이 있다. 이때 파장 조절기(11)의 이동이 과도한 경우 파장 조절기(11)와 도파관(10) 내벽 사이의 벌어진 틈(공간)으로 마이크로파가 지나갈 수 있으므로, 그 틈의 거리가 마이크로파 자유공간 파장의 1/2 이하가 되도록 파장 조절기(11)의 이동을 제한하는 것이 바람직하다.

[0043] 도 8은 도 6 및 도 7의 반사판(12)의 효과를 설명하기 위한 도면이다. 반사판(12)의 재질은 금속이나 일정 유전율을 갖는 유전체일 수 있고, 관형이나 막대, 블록 등의 형태로 제작될 수 있다. 이와 같은 반사판(12)은 파장 조절 공간(22)을 통과한 마이크로파를 반사시켜 파장 조절 공간(22) 상의 피가열물 쪽으로 다시 진행시키는 역할을 한다. 이에 따라 피가열물에서 마이크로파가 감쇠(attenuation)되는 문제가 보상되어 피가열물의 위치별 가열 균일도를 높일 수 있다. 즉, 도 8과 같이, 도파관(10) 입구쪽에서 입사되는 마이크로파는 피가열물 쪽으로 진행하여 피가열물을 가열하면서 전력 손실로 인해 점차로 보유한 전력이 감소되는데(도 8의 Incident Power), 반사판(12)에 의해 마이크로파를 반사시키면 반사된 마이크로파가 피가열물을 다시 지나가면서 피가열물에서 다시 전력 손실이 이루어지게 되므로(도 8의 Reflected Power), 결국 입사된 마이크로파의 전력과 반사된 마이크로파의 전력의 합은 피가열물에 대해 길이 방향(z 방향) 위치에 따라 비슷하거나 일정하게 할 수 있다(도 8에서 Resultant Power). 이러한 원리에 따라, 반사판(12)을 설치하게 되면 피가열물의 위치별 가열 정도의 차이가 없어져 균일한 가열이 되도록 할 수 있다.

[0044] 한편, 반사판(12)은 파장 조절기(11)로부터 길이 방향(z 방향)으로 일정거리 떨어진 위치에 고정 배치될 수도 있지만, 마이크로파를 이용하여 피가열물을 가열하는 동안 길이 방향(z 방향)으로 정해진 거리를 앞뒤로 왕복 운동하는 형태로 동작할 수 있다. 예를 들어 기계적 장치(모터 등)를 이용해 도파관(10) 내의 일정 가이드라인(레일 등)을 따라 반사판(12)이 반복적으로 정해진 거리를 앞뒤로 왕복 운동하도록 할 수 있으며, 이에 따라 반사된 마이크로파가 피가열물로 입사되는 세기를 평균적으로 균일하게 할 수 있어서 더욱 균일한 가열이 되도록 할 수 있다.

[0045] 이외에도 반사판(12)은 도 9와 같이 고정된 위치에서 소정 회전 중심을 축으로 하여 회전하는 형태로 동작할 수도 있으며 이를 위하여 기계적 장치(모터 등)를 이용해 회전 중심축을 회전시킬 수 있다. 예를 들어, 마이크로파를 이용하여 피가열물을 가열하는 동안 막대, 블록 등 형태의 반사판(12)이 정해진 각도에서 왕복 회전하도록

하여 피가열물과 반사판(12)의 해당 반사면 간의 거리의 증가와 감소가 반복되도록 함으로써, 반사된 마이크로파가 피가열물로 입사되는 세기를 평균적으로 균일하게 할 수 있다. 이와 같이 반사판(12)이 정해진 일정 각도(예, 30도, 60도 등)에서 왕복 회전하도록 동작할 수도 있지만, 이에 한정되지 않으며 반복적으로 360도를 완전히 회전하도록 동작시킬 수도 있으며, 이에 따라 반사판(12)의 반사면과 피가열물 간의 거리의 증가와 감소가 반복되도록 하여(도 9의 (a) 상태의 반사면에서 피가열물까지 거리와 도 9의 (b) 상태의 반사면에서 피가열물까지 거리가 반복적으로 다름) 피가열물을 균일하게 가열할 수 있다.

[0046] 한편, 위에서 기술한 바와 같은 원리는, 하기하는 바와 같이 임피던스 매칭 역할을 위한 변이부(51/52)를 갖는 구조(도 10a, 도 10b 참조), 도파관 양측에서 마이크로파를 입사하는 구조(도 10c 참조), 차단 근접 조건의 도파관과 다른 차단 근접 또는 차단 조건의 도파관을 조합한 구조(도 15 참조) 등 다양한 구조의 마이크로파 가열 장치에서 유사하게 적용될 수 있다. 이하 도 10 내지 도 15를 참조하여 이러한 다른 실시예들을 설명한다.

[0047] 도 10a는 차단 근접 조건의 도파관(10)의 양쪽에 변이부(51, 52)를 갖는 본 발명의 다른 실시예에 따른 마이크로파 가열장치를 설명하기 위한 도면으로서, 도 10a에 의한 마이크로파 가열장치는 위에서 기술한 바와 같은 도파관(10)의 구조에 추가적으로 도파관 길이 방향 양쪽에 변이부(51, 52)를 더 구비하는 구조이다. 변이부(51, 52)에 의해 파장 조절 공간이 55와 같이 피가열물 세로 방향(도파관 높이 방향, y 방향)으로 확대될 수 있다. 이에 따라 도파관(10) 한쪽 끝 입구쪽에서 마이크로파를 입사하고, 마이크로파가 변이부(51)를 지나 파장 조절기(11)에 의해 차단 근접 조건을 만족하는 확대된 파장 조절 공간(55)을 통과하면서 피가열물을 균일 가열할 수 있으며, 반대쪽 반사판(12)에서 반사되는 마이크로파 역시 변이부(52)를 지나 확대된 파장 조절 공간(55)을 통과하면서 피가열물을 더욱 균일 가열할 수 있게 된다.

[0048] 여기서, 단면이 직사각형인 도파관(10) 내에서 마이크로파가 TE₁₀ 모드로 진행하므로, 도파관(10)의 어느 한쪽 끝의 단면이 직사각형인 부분(급전부)과 파장 조절기(11) 사이의 변이부(51/52)에서 반사파에 의한 전력 손실 없이 마이크로파가 변이부(51/52)를 통과할 수 있게 변이부(51/52)에서 임피던스 매칭되도록 설계되어야 한다. 즉, TE₁₀ 모드를 만족하는 소정의 경계조건에서 좌우 측벽 방향(도파관 폭 방향, x 방향)으로 관로를 확대하더라도 TE₁₀ 모드의 마이크로파 진행을 유지시킬 수 있으나, 상하 측벽 방향(도파관 높이 방향, y 방향)으로 관로를 급격히 확대하게 되면 특성 임피던스 차이로 인해 반사파가 유발되므로, 변이부(51/52)는 도 10a와 같이 높이가 b₁에서 b₂까지 서서히 커지도록 경사면 형태로 설계하는 것이 바람직하다. 예를 들어, 급전부의 세로 길이인 b₁의 3배인 b₂까지 변이부(51/52)의 관로의 세로 크기를 서서히 증가시킴으로써, 입사되는 마이크로파의 주파수를 낮추거나 도파관 자체의 크기를 크게 하지 않아도 세로로 3배 더 큰 피가열물을 가열할 수 있게 된다. 여기서, b₂가 b₁의 3배인 경우를 예로 들어 설명하였으나 이에 한정되지 않으며 1배 초과 다양한 배수로 적용할 수 있다. 또한, 변이부(51/52)에서의 좌우 측벽 방향(도파관 폭 방향, 가로 방향, 또는 x 방향)의 관로 확대는 없어도 되지만, 경우에 따라 1배 초과 다양한 배수로 적용할 수 있다. 또한, 변이부(51/52)와 파장 조절기(11) 사이의 거리는 최소한도로 정하는 것이 바람직하며 사용목적에 따라 일정 간격이 있을 수도 있다.

[0049] 도 10b는 차단 근접 조건의 도파관의 한쪽에 변이부를 갖는 본 발명의 다른 실시예에 따른 마이크로파 가열장치를 설명하기 위한 도면으로서, 도 10b에 도시된 마이크로파 가열 장치는, 도 10a와 비교하면 도파관 길이 방향 한쪽(마이크로파 입사쪽)에만 변이부(51)를 더 구비한 구조이다. 변이부(51)에 의해 파장 조절 공간이 55와 같이 피가열물 세로 방향(도파관 높이 방향, y 방향)으로 확대될 수 있다. 이에 따라 도파관(10) 한쪽 끝 입구쪽에서 마이크로파를 입사하고, 마이크로파가 변이부(51)를 지나 파장 조절기(11)에 의해 차단 근접 조건을 만족하는 확대된 파장 조절 공간(55)을 통과하면서 피가열물을 균일 가열할 수 있으며, 반대쪽 급전부(단면이 직사각형인 부분) 내의 반사판(12)에서 반사되는 마이크로파가 다시 확대된 파장 조절 공간(55)을 통과하면서 피가열물을 더욱 균일 가열할 수 있게 된다.

[0050] 도 10c는 도 10a의 반사판(12) 대신에 반대쪽에서도 마이크로파를 입사하는 방식을 설명하기 위한 도면이다.

[0051] 위에서 기술한 바와 같이 차단 근접 조건의 도파관(10)에 한쪽 입구에서 마이크로파를 입사하여 피가열물을 균일 가열할 수도 있지만, 도 10c와 같이, 마이크로파를 도파관(10)의 길이 방향 양측 입구에서 입사하여 피가열물을 균일 가열할 수도 있다.

[0052] 도 10a, 도 10b, 도 10c에서도, 도면에는 표시하지 않았지만, 도파관(10)에는 확대된 파장 조절 공간(55) 내부로 피가열물을 투입하기 위한 피가열물 투입구(15)가 형성될 수 있으며, 판형, 필름 또는 쉬트 형태의 피가열물

을 투입하기 위해 슬릿 형태로 형성될 수 있다(도 7 참조). 또한, 피가열물 투입구(15) 외에 피가열물을 배출하기 위한 피가열물 배출구를 형성할 수 있다.

- [0053] 도 6, 도 7 및 도 10a~도 10c에는 도시하지 않았으나, 본 발명에 따른 가열장치는 마이크로파를 발생시키기 위한 마이크로파 발생기가 포함될 수 있으며, 이외에도 분배기, 위상변환기 등이 더 포함될 수 있는데, 이러한 부가회로들이 포함된 또 다른 실시예들을 도 11 내지 도 14를 참조하여 설명한다.
- [0054] 도 11을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 가열장치(100)는, 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 갖는 반사판이 없는 차단 근접 조건의 도파관(10) 이외에 마이크로파 발생기(110), 분배기(120), 및 위상 변환기(130)를 포함할 수 있다.
- [0055] 마이크로파 발생기(110)는 일정 주파수(f)의 마이크로파(MW)를 발생하며, 분배기(120)는 마이크로파 발생기(110)에서 생성되는 마이크로파(MW)로부터 동일한 진폭과 주파수를 갖는 제1마이크로파(MW1)와 제2마이크로파를 생성한다. 분배기(120)는 제1마이크로파(MW1)를 도파관(10)의 한쪽 입구를 통해 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 향하여 입사하고, 위상 변환기(130)는 제2마이크로파의 위상을 일정 범위에서 조절하여 위상 조절된 제2마이크로파(MW2)를 도파관(10)의 다른 반대쪽 입구를 통해 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 향하여 입사한다.
- [0056] 도파관(10)의 양쪽에 위상 변환기를 설치할 수도 있으나, 이와 같이 한쪽에만 위상 변환기(130)를 설치하여도 제1마이크로파(MW1)와 위상 조절된 제2마이크로파(MW2) 간의 위상 차이 효과를 실현할 수 있으므로 보다 간단하게 피가열물을 균일 가열할 수 있다.
- [0057] 도 12는 도파관(10)에 마이크로파를 입사하기 위한 다른 부가 회로를 포함한 가열장치의 또 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.
- [0058] 도 12를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 가열장치(200)는, 반사판(12)이 없는 차단 근접 조건의 도파관(10) 이외에 제1마이크로파 발생기(210), 제2마이크로파 발생기(220), 및 위상 변환기(230)를 포함할 수 있다.
- [0059] 제1마이크로파 발생기(210)는 일정 주파수의 제1마이크로파(MW1)를 발생하며 도파관(10)의 한쪽 입구를 통해 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 향하여 입사하고, 제2마이크로파 발생기(220)는 일정 주파수의 제2마이크로파를 발생하며, 위상 변환기(230)는 제2마이크로파의 위상을 일정 범위에서 조절하여 위상 조절된 제2마이크로파(MW2)를 도파관(10)의 다른 반대쪽 입구를 통해 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 향하여 입사한다.
- [0060] 도파관(10)의 양쪽에 위상 변환기를 설치할 수도 있으나, 이와 같이 한쪽에만 위상 변환기(230)를 설치하여도 제1마이크로파(MW1)와 위상 조절된 제2마이크로파(MW2) 간의 위상 차이 효과를 실현할 수 있으므로 보다 간단하게 피가열물을 균일 가열할 수 있다.
- [0061] 경우에 따라서는, 제1마이크로파 발생기(210)가 제1마이크로파(MW1)의 진폭 또는 주파수를 변화시켜 출력할 수도 있으며, 제2마이크로파 발생기(220)가 제2마이크로파(MW2)의 진폭 또는 주파수나 위상을 변화시켜 출력할 수도 있다.
- [0062] 도 13은 도파관(10)에 마이크로파를 입사하기 위한 또 다른 부가 회로를 포함한 가열장치의 또 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.
- [0063] 도 13을 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 가열장치(300)는, 반사판(12)이 없는 차단 근접 조건의 도파관(10) 이외에 제1마이크로파 발생기(310), 및 제2마이크로파 발생기(320)를 포함할 수 있다.
- [0064] 제1마이크로파 발생기(310)는 제1마이크로파(MW1)를 발생하여 도파관(10)의 한쪽 입구를 통해 상기 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 향하여 입사하고, 제2마이크로파 발생기(320)는 제2마이크로파(MW2)를 발생하여 도파관(10)의 다른쪽 입구를 통해 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 향하여 입사한다.
- [0065] 제1마이크로파 발생기(310)가 제1마이크로파(MW1)의 진폭 또는 주파수를 변화시킬 수 있으며, 또는 제2마이크로파 발생기(320)가 제2마이크로파(MW2)의 진폭 또는 주파수나 위상을 변화시킬 수도 있으며, 이에 따라 특히 어느 한쪽의 주파수를 일정 범위에서 조절하는 것에 의하여도 위상이 달라지는 효과를 이용하여 위상 조절과 파장

조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)에서 파장 조절이 동시에 이루어지도록 함으로써, 피가열물을 균일 가열할 수 있다.

[0066] 도 14는 도파관(10)에 마이크로파를 입사하기 위한 또 다른 부가 회로를 포함한 가열장치의 또 다른 예를 설명하기 위한 도면이다.

[0067] 도 14를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 가열장치(400)는, 차단 근접 조건의 도파관(10) 이외에 마이크로파 발생기(410)를 포함할 수 있다.

[0068] 여기서는 마이크로파 발생기(410)가 한 개만 사용되는 예이며, 마이크로파 발생기(410)가 마이크로파(MW1)를 발생하여 도파관(10)의 입구를 통해 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 향하여 입사하고, 이때, 마이크로파(MW1)가 입사되는 입구의 도파관(10)의 반대쪽에는 위에서 설명한 반사판(12)이 배치될 수 있다. 반사판(12)은 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)을 통과한 마이크로파(MW1)를 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55) 쪽으로 다시 반사시킨다.

[0069] 이와 같이 하나의 마이크로파 발생기(410)만을 사용하여도 마이크로파 발생기(410)가 진폭 또는 주파수를 변화시킬 수 있으며, 특히, 주파수 변화에 따른 위상 변화 효과를 이용하여, 위상 조절과 파장 조절 공간(22) 또는 확대된 파장 조절 공간(55)에서 파장 조절이 동시에 이루어지도록 함으로써, 피가열물을 균일 가열할 수 있다.

[0070] 도 11 내지 도 14의 부가 회로에 따른 피가열물에서의 전력 손실 균일도 시뮬레이션 분석 결과는 동일출원인에 의한 선출원인 한국특허출원 10-2013-0103346호를 참조할 수 있다.

[0071] 한편 도 7에 도시한 바와 같이 도파관(10) 내부로 통하도록 형성된 슬릿 형태의 피가열물 투입구(15) 및 피가열물 배출구를 통해 판형, 필름 또는 쉬트 형태의 피가열물을 연속적으로 밀어넣고 가열된 부분을 배출하면서 피가열물을 가열하는 형태에 있어서는, 피가열물 투입구(15) 및 피가열물 배출구 주위의 자유공간의 마이크로파 모드가 도파관(10) 내 차단 근접 조건 모드에 영향을 줌으로써, 피가열물의 가열 균일도가 저하될 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여, 도 15와 같은 가열장치(600)의 다른 예를 사용할 수 있다.

[0072] 도 15를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 마이크로파 가열장치(600)는, 차단 근접 조건 도파관(610)의 그 상부에 하나 이상 배치된 차단 근접 조건 또는 차단 조건의 도파관(또는 공진기)(621, 622), 또는 그 하부에 하나 이상 배치된 차단 근접 조건 또는 차단 조건의 도파관(또는 공진기)(631, 632)을 포함할 수 있다. 도면에는 도파관(610, 621, 622, 631, 632) 모두를 확대된 파장 조절 공간(55)(도 10a, 도 10b, 도 10c 참조)을 갖는 도파관으로 도시하였지만, 이에 한정되지 않으며, 도 6 및 도 7과 같은 형태의 파장 조절 공간(22)을 갖는 도파관들로 할 수 있다.

[0073] 또한, 피가열물이 판형, 필름 또는 쉬트 형태인 경우, 도파관(610, 621, 622, 631, 632)은 모두 동일한 위치에 슬릿 형태의 피가열물 투입구 및 배출구를 구비하여, 피가열물이 각 도파관을 순차적으로 통과하도록 할 수 있다. 이때, 차단 근접 조건 도파관(610)의 상하부에 위치한 도파관(621, 622, 631, 632)들에도 마이크로파를 입사하여 피가열물을 가열할 수 있으며, 이로 인해 슬릿 형태의 피가열물 투입구 및 배출구로 인해 발생할 수 있는 가열 불균일성을 희석시킬 수 있는 효과가 있다.

[0074] 도 15의 도파관(610, 621, 622, 631, 632)들은 반사판(12)이 있는 구조여도 됨은 물론 반사판 없이 양 쪽에서 마이크로파를 입사시키는 구조여도 무방하다.

[0075] 위에서 기술한 바와 같은 가열장치를 이용하여 가열할 수 있는 피가열물은 자기장에 의해 가열될 수 있도록 적어도 부분적으로 자성체를 포함한 것이면 특별히 한정하지 않는다. 피가열물은 판형, 필름, 쉬트 형태일 수 있으며, 소정의 이송 수단(컨베이어 벨트 등) 위에 놓인 분말형태이거나, 특정 기체나 진공 분위기, 또는 액체 내에 포함된 자성체일 수도 있다.

[0076] 한편, 피가열물이 특정 기체나 진공 분위기, 또는 액체 내에 포함된 자성체인 경우에는 이러한 기체나 진공 분위기, 또는 액체가 도파관 내 자기장이 강한 범위 밖으로 퍼지지 않도록 가둬둘 필요가 있는데, 이러한 경우에는 도 16과 같이 도파관 내에 유전체 차단벽을 설치할 수 있다. 도 16은 차단 근접 조건의 도파관(70) 내에 유전체 차단벽(80)이 설치된 본 발명의 다른 실시예에 따른 가열장치 개념도로서, 유전체 차단벽(80)은 대략 H자 형상으로 형성되어 차단 근접 조건의 도파관(70) 좌우 및 상하 측벽에 액체 또는 기체 밀봉 가능하도록 밀착 설

치되며, 마이크로파 자기장이 강한 좌우 측벽 부근의 영역에 적어도 하나의 격리공간(81, 82)을 형성한다. 이러한 격리공간(81, 82)에는 피가열물이 위치하여 마이크로파 자기장에 의해 가열되게 되며, 도 3 내지 도 5를 참조하여 설명한 차단 근접 조건 도파관의 특성에 따라 격리공간(81, 82)은 마이크로파 전기장의 영향은 거의 받지 않고 마이크로파 자기장의 영향만을 받게 된다. 이때 피가열물은 자기장에 의해 가열될 수 있도록 적어도 부분적으로 자성체를 포함한 것이면 특별히 한정되지 않으나, 유전체 차단벽(80)에 의해 격리공간(81, 82) 내의 부가 분리되므로, 특정 기체나 진공 분위기 내에서 피가열물을 가열하거나, 액체 내에 포함된 자성체를 가열하는 등의 용도에 유용하게 사용할 수 있다. 이때, 도 16에는 도시하지 않았으나, 격리공간(81, 82)에 특정 기체 또는 액체를 넣고 빼거나 진공을 형성하기 위한 포트가 마련되어 있을 수 있으며, 피가열물을 투입하기 위한 피가열물 투입구가 별도로 마련되어 있을 수 있다. 도 16의 가열장치가 격리공간(81, 82) 내에 특정 기체나 액체를 채워 넣거나, 진공분위기 하에서 피가열물을 가열하기 위한 용도로 사용되는 경우, 피가열물 투입구는 오링(O-ring) 등의 밀봉부재를 이용하여 밀봉되도록 구성하는 것이 바람직하다.

[0077] 도 16의 가열장치는 차단 근접 조건의 도파관(70) 내에 마이크로파 자기장이 강한 영역에 피가열물이 위치할 수 있도록 빈 공간인 격리공간(81, 82)을 형성하고 마이크로파 전기장이 강한 영역에는 유전체 차단벽(80)에 의해 기체나 액체 등이 존재할 수 없도록 함으로써, 마이크로파 전기장의 영향을 받지 않고 마이크로파 자기장에 의해 피가열물을 가열할 수 있는 효과가 있다. 이때, 유전체 차단벽(80)은 에너지 손실을 낮추기 위해 마이크로파 흡수율이 낮은 유전체로 형성하는 것이 바람직하며, 유전체 차단벽(80)과 차단 근접 조건 도파관(70)의 좌우 및 상하 측벽은 브레이징으로 접합되거나 오링 등의 밀봉부재로 기밀이 유지되도록 결합하는 것이 바람직하다. 또한, 도 16은 도파관(70) 전체의 폭(a)이 차단 근접 조건이 되도록 작게 형성된 예를 도시하였으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 도 6, 도 7, 도 10a 내지 도 10c, 도 15와 같이 파장조절기(11)에 의해 차단 근접 조건이 충족되는 파장 조절 공간(22)에 유전체 차단벽(80)을 설치하여 마이크로파 자기장이 강한 측벽 부근에 격리공간(81, 82)이 형성되도록 할 수 있음은 자명하다.

[0078] 위에 기술한 본 발명에 따른 다양한 구조의 가열장치들은 차단 근접 조건 도파관의 측벽 부근에 마이크로파 자기장의 세기는 강하고 마이크로파 전기장의 영향은 실질적으로 없는 위치에서 피가열물을 가열하므로, 마이크로파를 이용하여 가열하면서도 마이크로파 전기장의 영향을 배제하여야 하는 모든 경우에 적용할 수 있다. 이하고 도 17 내지 도 19를 참조하여 본 발명에 따른 가열장치를 적용할 수 있는 적용예들을 예시적으로 설명한다.

[0079] 도 17은 본 발명에 따른 가열장치를 실리콘 태양전지의 도전성 패턴 선택가열에 적용하는 제1 적용예를 설명하기 위한 도면이다. 실리콘 태양전지는 실리콘 기판(1710) 위에 반사방지막(Anti-Reflection Coating; ARC)(1720)을 형성한 후, 그 위에 은(Ag) 등의 도전성 패턴(1730)을 형성하는데, 이때 도전성 패턴(1730)은 스크린 프린팅 기법으로 도전성 페이스트(Paste) 패턴을 인쇄한 후 도전성 페이스트 내에 포함된 용제나 바인더를 제거하기 위한 열처리를 함으로써 형성하는 것이 보통이다. 여기서 도전성 패턴(1730)을 가열하기 위해 마이크로파 전기장을 이용하는 경우, 도전성 패턴(1730)만 가열되는 것이 아니라 실리콘 기판(1710) 및 반사방지막(1720)도 함께 가열되는 문제와 마이크로파 전기장에 의해 아킹이 발생하는 문제가 있으나, 본 발명에 따른 가열장치에서 마이크로파 자기장을 이용하여 가열하게 되면 이러한 문제들을 해결하고 도전성 패턴(1730)만을 선택적으로 가열하는 것이 가능해진다. 이를 위해 가열되는 것을 원하지 않는 실리콘 기판(1710) 면이 교번자기장에 평행하도록(교번자기장과 실리콘 기판 면의 법선이 수직하도록) 본 발명에 따른 가열장치에 피가열물을 투입하고, 도전성 페이스트 내에 강자성체를 포함시킬 수 있으며, 이 경우 실리콘 기판(1710)이나 반사방지막(1720)에 유도되는 맴돌이 전류(Eddy Current)에 의한 가열은 최소화되고 도전성 패턴(1730)은 교번자기장에 의한 자기 손실이 발생하여 선택적으로 가열하는 것이 가능하다. 도 17에는 가열장치의 구조를 구체적으로 도시하지는 않았으나, 위에서 기술한 도 6, 도 7, 도 10a 내지 도 10c, 도 15 및 도 16의 가열장치 모두가 이러한 용도로 사용될 수 있다.

[0080] 도 18은 본 발명에 따른 가열장치를 니켈 포일 위에 그래핀 박막을 형성하는 데에 적용하는 제2 적용예를 설명하기 위한 도면이다. 그래핀 박막을 증착하기 위해서는 니켈 등의 촉매 금속이 필요하므로, CH₄, H₂ 가스로 채워진 진공분위기에 니켈 포일 등 촉매금속을 투입한 후 소정 온도로 가열한 상태에서 화학기상증착법(Chemical Vapor Deposition; CVD)으로 그래핀 박막을 증착하게 된다. 이때 니켈 포일을 마이크로파 전기장을 이용하여 가열하게 되면, 전기장에 의해 원하지 않는 기체 방전 또는 플라즈마가 발생하는 문제가 있으나, 본 발명에 따른 가열장치에서 마이크로파 자기장을 이용하여 가열하게 되면 이러한 문제를 해결하고 니켈 포일만을 선택적으로

가열하는 것이 가능해진다. 도 18에는 가열장치의 구조를 구체적으로 도시하지는 않았으나, 위에서 기술한 도 6, 도 7, 도 10a 내지 10c, 도 15 및 도 16의 가열장치 모두가 이러한 용도로 사용될 수 있으며, 특히 제2 적용예는 그래핀 증착을 위한 특정 기체 또는 진공 분위기가 필요하므로 도 16의 격리공간(81, 82)을 설치한 가열장치가 적합하다. 물론 다른 구조의 가열장치를 사용하더라도 특정 기체 또는 진공 분위기를 형성하기 위한 별도의 용기를 마련하여 피가열물(니켈 포일)을 넣고, 이러한 용기를 본 발명에 따른 가열장치의 차단 근접 조건 도파관 내에 마이크로파 자기장이 강한 영역에 투입함으로써, 마이크로파 전기장에 의한 기체 방전 또는 플라즈마 발생 없이 니켈 포일만을 선택적으로 가열할 수 있다. 상기 예에서는 니켈이 포일 형태인 것으로 설명하였으나, 이에 한정되는 것은 아니며, 메쉬(mesh) 형태 동일 수도 있다.

[0081]

도 19는 본 발명에 따른 가열장치를 극성 용매 내의 강자성 용질 선택 가열에 적용하는 제3 적용예를 설명하기 위한 도면이다. 나노입자 합성을 위해 물이나 알콜 등의 극성 용매(1910) 내의 $FeCl_3$, $FeSO_4$ 등의 강자성 용질(1920)을 가열하는 경우가 있는데, 이때 극성 용매(1910)를 전체적으로 가열하여 강자성 용질(1920)이 가열되도록 하는 것이 보통이나, 이러한 방법은 가열 효율이 떨어지고 그로 인해 반응 속도가 떨어지는 문제가 있다. 그러나, 본 발명에 따른 가열장치에서 마이크로파 자기장을 이용하여 가열하게 되면 이러한 문제를 해결하고 극성 용매(1910) 내의 강자성 용질(1920)만을 선택적으로 가열하는 것이 가능해진다. 도 19에는 가열장치의 구조를 구체적으로 도시하지는 않았으나, 위에서 기술한 도 6, 도 7, 도 10a 내지 10c, 도 15 및 도 16의 가열장치 모두가 이러한 용도로 사용될 수 있으며, 특히 도 16의 격리공간(81, 82)을 설치한 가열장치를 사용할 경우 극성 용매(1910)를 담기 위한 별도의 용기(1930)가 불필요하므로 더욱 적합하다. 물론 다른 구조의 가열장치를 사용하더라도 극성 용매(1910)를 담기 위한 별도의 용기(1930)를 마련하여 피가열물(극성 용매 및 강자성 용질)을 넣고, 이러한 용기를 본 발명에 따른 가열장치의 차단 근접 조건 도파관 내에 마이크로파 자기장이 강한 영역에 투입함으로써, 마이크로파 전기장에 의한 극성 용매(1910) 가열 없이 강자성 용질(1920)만을 선택적으로 가열할 수 있다.

[0082]

[0083]

이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

부호의 설명

[0084]

- 10, 70, 610, 621, 622, 631, 632: 도파관
- 11: 파장 조절기
- 12: 반사판
- 15: 피가열물 투입구
- 16: 위치 조절 수단
- 22: 파장 조절 공간
- 21, 23: 매칭 영역
- 51, 52: 변이부
- 55: 확대된 파장 조절 공간
- 80: 유전체 차단벽
- 81, 82: 격리공간
- 110, 210, 220, 310, 320, 410: 마이크로파 발생기
- 120: 분배기

130, 230: 위상 변환기

1710: 실리콘 기판

1720: 반사방지막

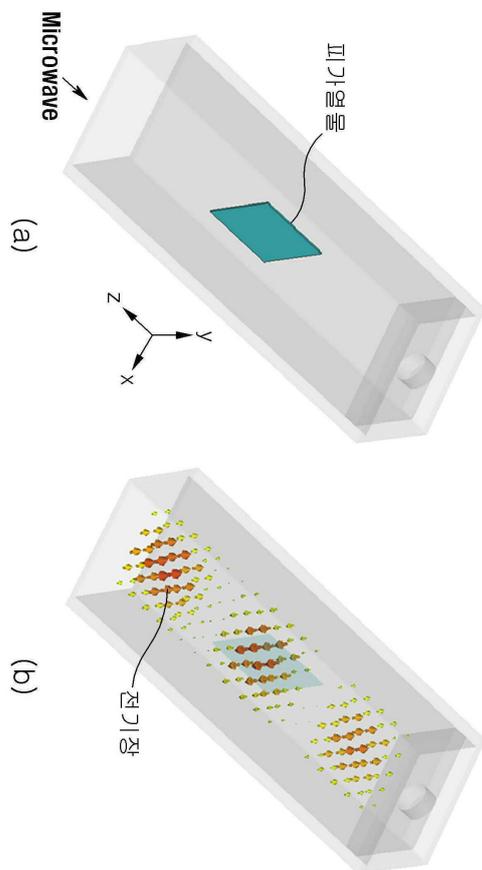
1730: 도전성 패턴

1910: 극성 용매

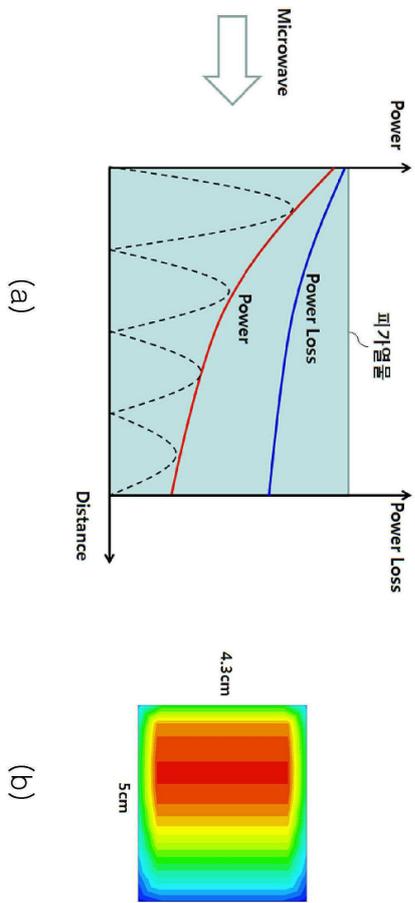
1920: 강자성 용질

도면

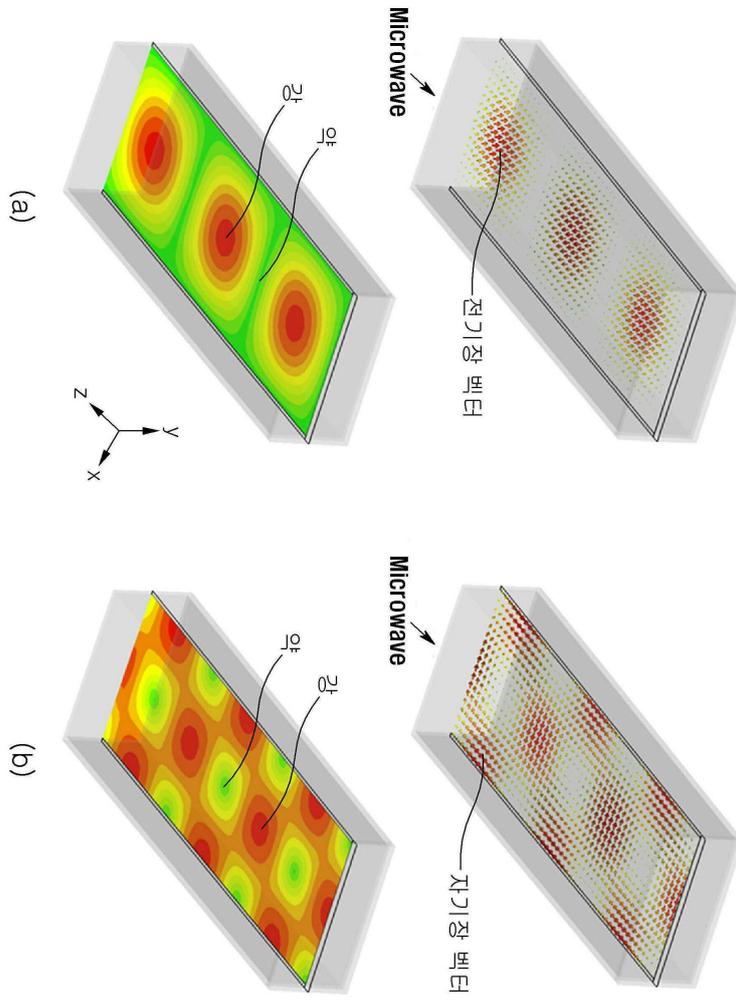
도면1



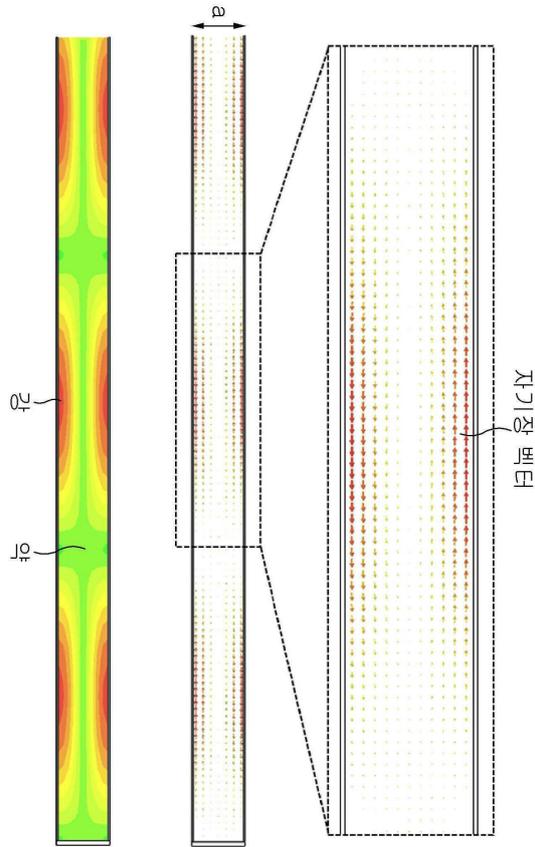
도면2



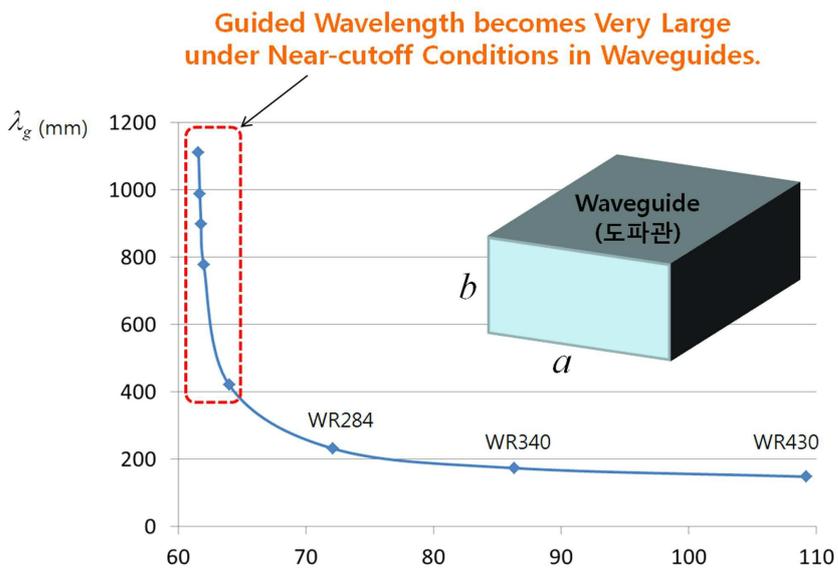
도면3



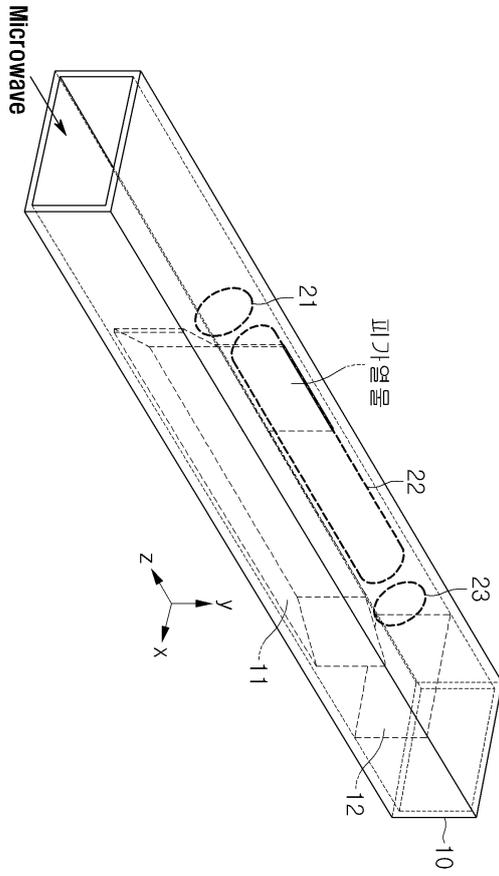
도면4



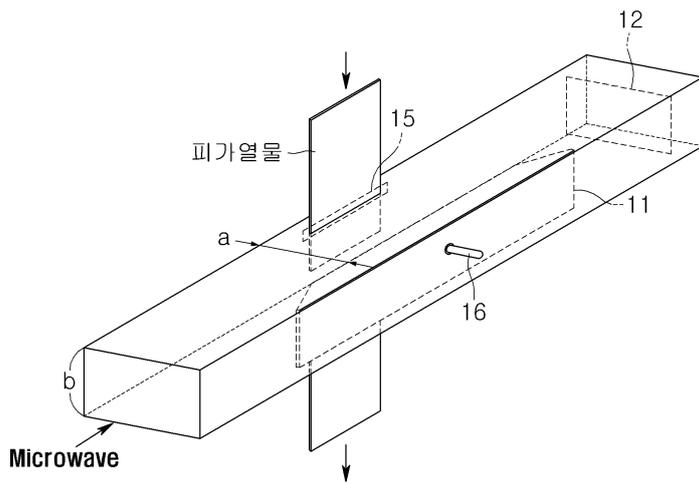
도면5



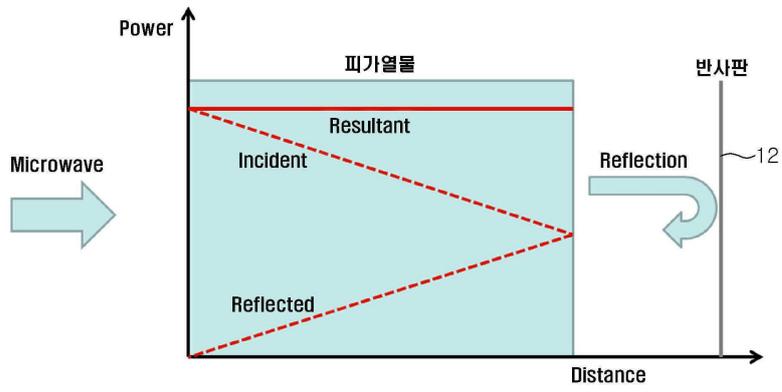
도면6



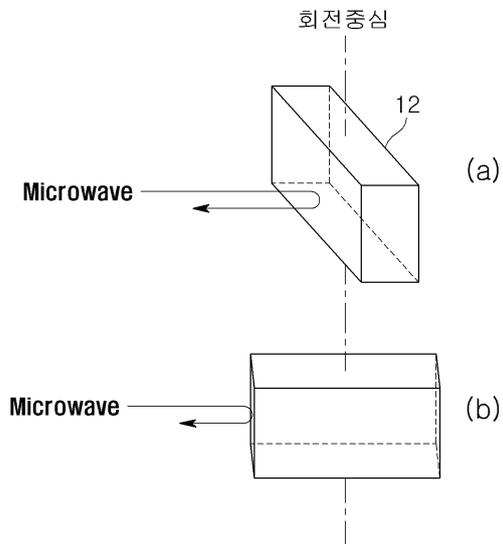
도면7



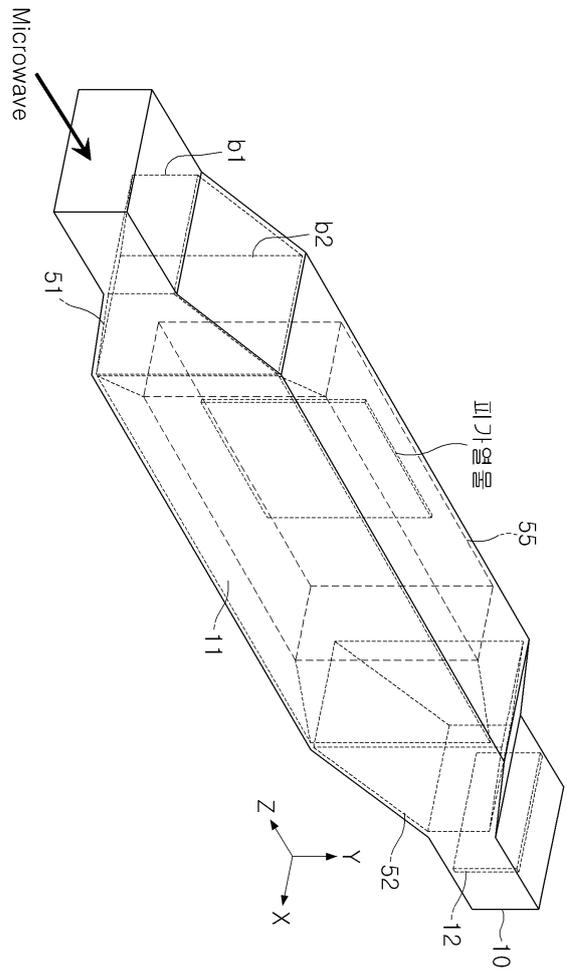
도면8



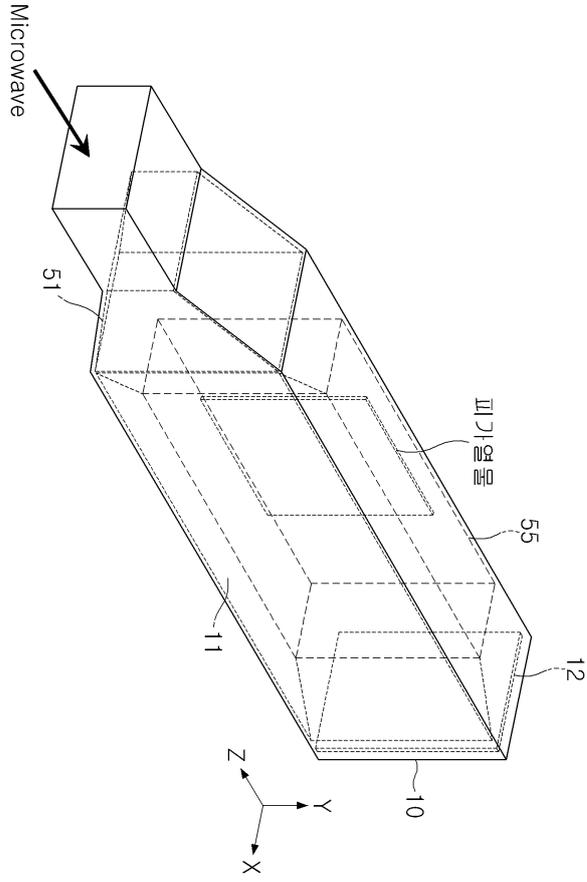
도면9



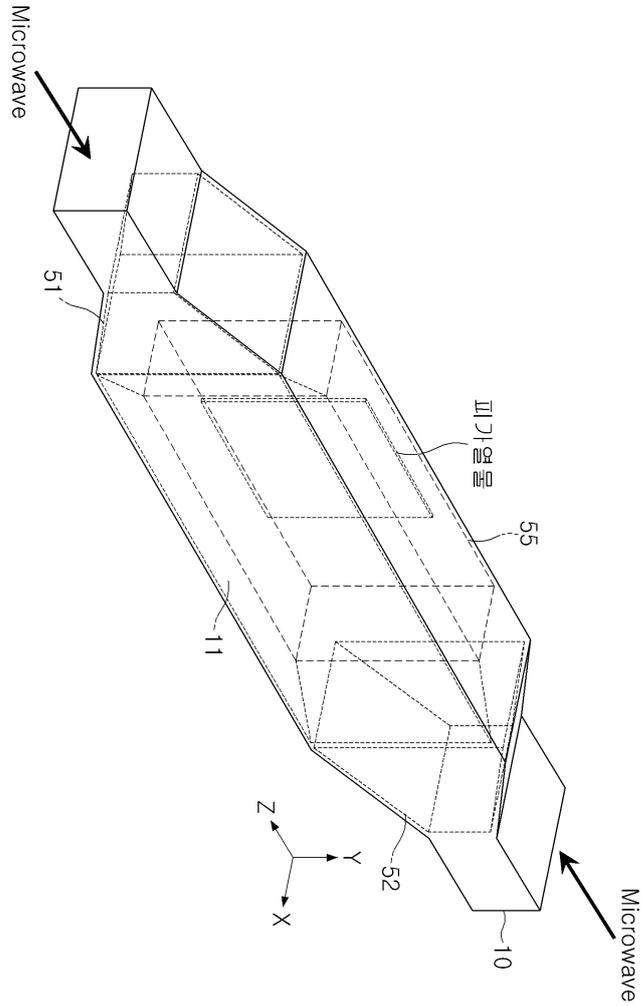
도면10a



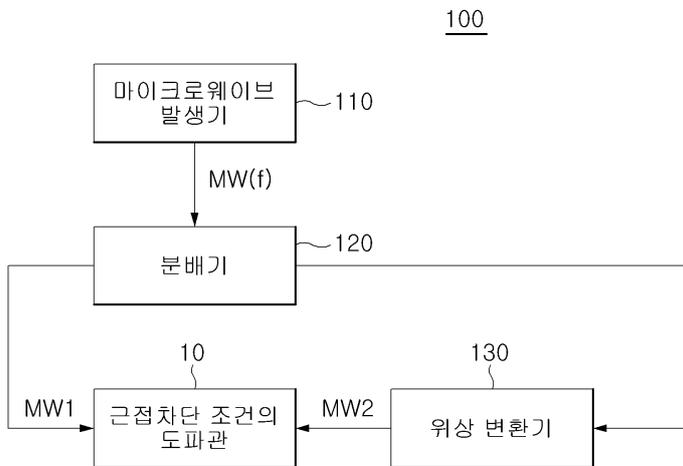
도면10b



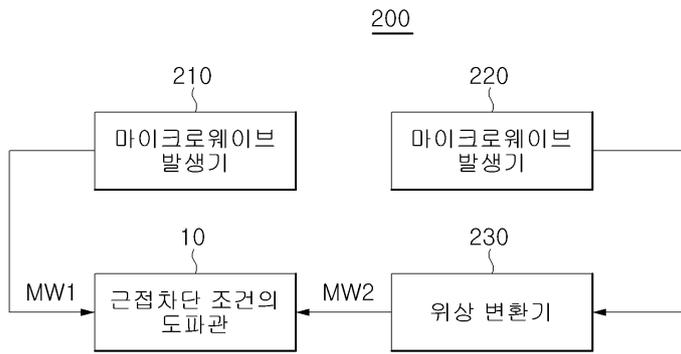
도면10c



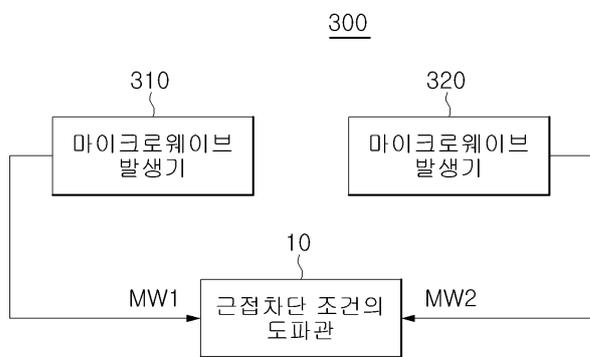
도면11



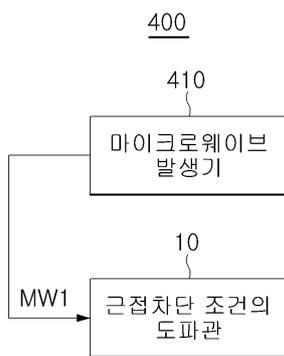
도면12



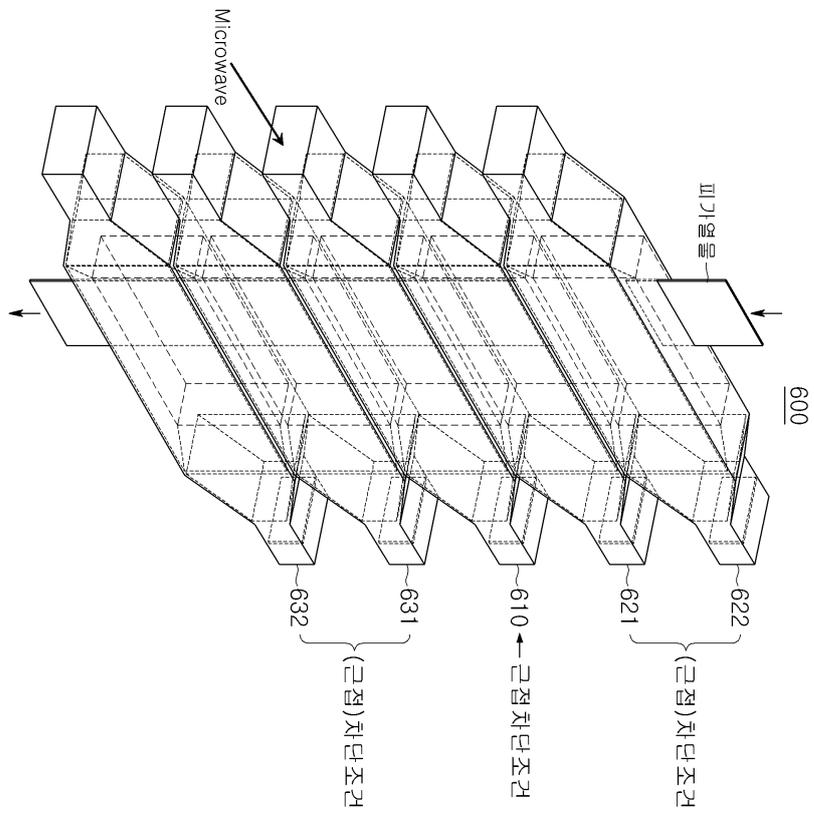
도면13



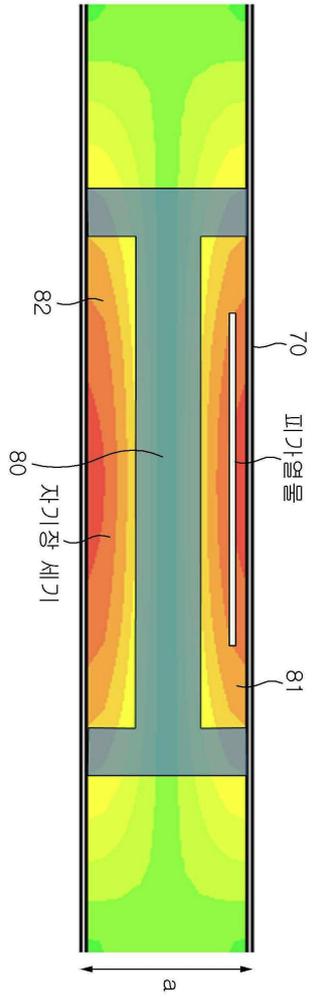
도면14



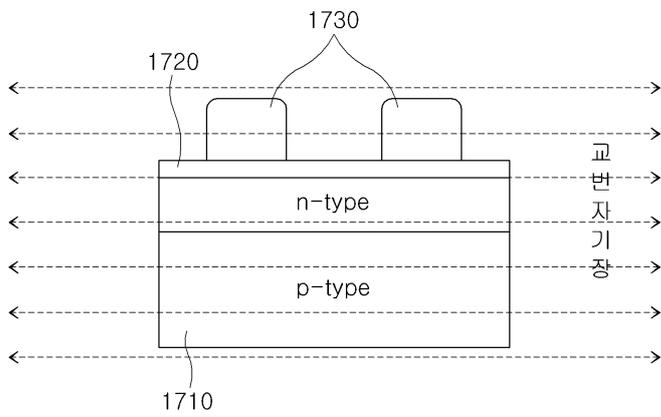
도면15



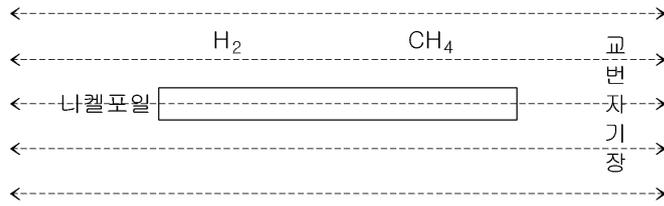
도면16



도면17



도면18



도면19

