



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

(45) 공고일자 2014년05월22일  
 (11) 등록번호 10-1398592  
 (24) 등록일자 2014년05월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H05H 1/24 (2006.01) H01L 21/3065 (2006.01)  
 H01L 21/205 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2012-0111241  
 (22) 출원일자 2012년10월08일  
 심사청구일자 2012년10월08일  
 (65) 공개번호 10-2014-0045112  
 (43) 공개일자 2014년04월16일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 KR1020090108745 A\*  
 KR1020100026707 A\*  
 KR1020110093977 A\*  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
 한국기초과학지원연구원  
 대전광역시 유성구 과학로 169-148 (어은동)  
 (72) 발명자  
**홍용철**  
 대전광역시 유성구 과학로 133 국가핵융합연구소 (어은동52)  
**천세민**  
 대전광역시 유성구 과학로 133 국가핵융합연구소 (어은동52)  
**조창현**  
 대전광역시 유성구 과학로 133 국가핵융합연구소 (어은동52)  
 (74) 대리인  
**차상윤, 남건필**

전체 청구항 수 : 총 20 항

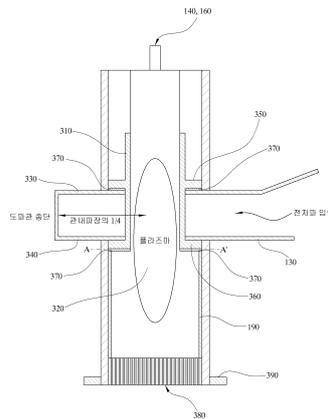
심사관 : 이민형

(54) 발명의 명칭 **라디칼 발생 및 이송 장치**

**(57) 요약**

본 발명은 플라즈마를 이용하여 화학적 반응성이 높은 라디칼들(Radicals)의 발생 및 이송 장치에 관한 것이다. 더욱 상세하게는 본 발명은 전자파에 의한 무전극 플라즈마를 이용하여 플로린화합물들(Fluorine-compounds)를 효율적으로 이온화, 분리 및 여기하여 자유라디칼(F), 여기된 라디칼(F\*), 양이온(F<sup>+</sup>), 또는 음이온(F<sup>-</sup>)을 포함하는 플라즈마를 발생시키고 상기 플라즈마 내의 라디칼들을 라디칼 이송관을 통해 이송시키고, 상기 이송된 라디칼들이 원하는 곳에 균등하게 분배되어 물질을 처리할 수 있도록 하는 라디칼 발생 및 이송 장치에 관한 것이다.

**대표도** - 도3



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

전자파를 이용한 무전극 플라즈마를 이용하여 라디칼을 발생시키는 라디칼 발생부;

상기 라디칼 발생부와 유체 소통가능하게 연결되어 있으며, 상기 플라즈마의 영역을 확대하고, 발생된 라디칼을 이송하는 라디칼 이송관; 및

상기 라디칼 이송관과 유체 소통가능하게 연결되어 있으며, 상기 이송된 라디칼의 유체 흐름이 층류 흐름으로 전환되어 분배되도록 구성된 라디칼 분배부를 포함하는,

라디칼 발생, 이송 및 분배 장치로서,

상기 라디칼 이송관은 관형이며, 상기 라디칼 발생부의 하단에 위치하고, 상기 라디칼 발생부와 유체 소통 가능하게 연결되어 있으며, 상기 라디칼 이송관의 외면 중 상기 라디칼 발생부 측 상부면에 전자석 코일이 감겨져 있고, 상기 전자석 코일의 작동에 의해 상기 라디칼 이송관 내에 상기 라디칼 이송관의 종방향의 자기장을 형성하고, 상기 라디칼 이송관의 외면 중 상기 라디칼 분배부 측 하부면에 냉각수 코일이 감겨져 있으며,

상기 라디칼 분배부는 상기 이송관의 하단에 위치하며, 상기 라디칼 이송관과 유체 소통 가능하게 연결되어 있는 다수의 관통 개구를 포함하고, 상기 라디칼 분배부는 냉각수가 관통하는,

라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 라디칼 발생부는 방전관 및 도파관을 포함하며,

상기 방전관은 상기 도파관을 관통하여 위치하고,

상기 방전관으로 라디칼 발생 전구물질을 포함하는 플라즈마 가스가 공급되며,

상기 도파관을 통해 전자파가 방전관으로 전송되며, 상기 전자파에 의해 상기 방전관 내에 자기장이 발생하여, 상기 방전관 내에 플라즈마 및 상기 플라즈마에 의한 라디칼이 발생하는,

라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

### 청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 라디칼 발생 전구물질이 플로린화합물인,

라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

### 청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 플로린화합물은  $NF_3$ ,  $SF_6$ ,  $CH_4$ ,  $C_2F_6$  및  $C_3F_8$ 로 구성되는 군으로부터 선택되는 하나 이상의 화합물인,

라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 5**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,  
상기 라디칼은 플로린화합물의 플라즈마에 의한 분리 및 여기에 의한 자유라디칼 및 여기된 라디칼인,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 6**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,  
상기 플라즈마 발생부는 1기압 이하의 저압을 유지하도록 하는 실링부 및 진공펌프를 포함하는,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 7**

삭제

**청구항 8**

삭제

**청구항 9**

삭제

**청구항 10**

제 1항에 있어서,  
상기 라디칼 분배부의 관통 개구는 상기 라디칼의 진행 방향에 따라 연장된 세장형인,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 11**

제 1항에 있어서,  
상기 라디칼 분배부의 관통 개구의 관통 방향은 상기 라디칼의 진행 방향에 대해 0도 내지 90도의 각을 이루는,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 12**

삭제

**청구항 13**

제 3항에 있어서,  
상기 도파관에 관통되어 있는 방전관은 상기 도파관의 관통된 두 외면위에 놓이도록 구성된, 상기 방전관의 외  
면에 외측으로 돌출된 두 개의 환형 디스크를 포함하는,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 14**

제 13항에 있어서,  
상기 환형 디스크와 상기 도파관이 접하는 면에 실링을 위한 진공 실링 오링을 포함하는,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 15**

제 13항에 있어서,  
상기 도파관은 두 개의 관의 단축 단면이 결합되어 있으며,  
상기 단축 단면이 결합된 위치에, 상기 방전관은 관통되어 있는,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 16**

제 15항에 있어서,  
상기 두 관의 단축 단면의 결합은 플랜지에 의해 이뤄진,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 17**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,  
상기 라디칼 발생부, 상기 라디칼 이송관 및 상기 라디칼 분배부는 플로린 화합물 내성 재료로 이뤄진,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 18**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,  
상기 전자파의 발진 주파수가 902-928 MHz, 886-906 MHz, 또는 2.45 GHz의 주파수 범위인,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 19**

제 18항에 있어서,  
상기 전자파의 발진 주파수가 915 MHz 또는 896 MHz의 주파수인,  
라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 20**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,  
상기 층류 흐름이 레이놀즈 수(Reynolds number) 2200 이하인,

라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 21**

제 1항 또는 제 2항에 있어서,  
 상기 층류 흐름이 레이놀즈 수 1100 이하인,  
 라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 22**

제 2항에 있어서,  
 상기 방전관 내로 공급되는 가스는 스윙가스(Swirl Gas)로 유입되어, 방전관내 플라즈마의 축방향으로의 안정화를 유지하는,  
 라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 23**

제 22항에 있어서,  
 상기 방전관 내로 공급되는 가스의 유입 속도를 높여, 상기 방전관내 플라즈마의 안정화 유지를 제공하는,  
 라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**청구항 24**

제 22항에 있어서,  
 상기 방전관 내로 공급되는 가스의 축방향에 대한 주입각도를 높여, 상기 방전관내 플라즈마의 안정화 유지를 제공하는,  
 라디칼 발생, 이송 및 분배 장치.

**명세서**

**기술분야**

[0001] 본 발명은 플라즈마를 이용하여 화학적 반응성이 높은 라디칼들(Radicals)의 발생 및 이송 장치에 관한 것이다.

[0002] 더욱 상세하게는 본 발명은 전자파에 의한 무전극 플라즈마를 이용하여 플루오린화합물들(Fluorine-compounds)를 효율적으로 이온화, 분리 및 여기하여 자유라디칼( $F$ ), 여기된 라디칼( $F^*$ ), 양이온( $F^+$ ), 또는 음이온( $F^-$ )을 포함하는 플라즈마를 발생시키고 상기 플라즈마 내의 라디칼들을 라디칼 이송관을 통해 이송시키고, 상기 이송된 라디칼들이 원하는 곳에 균등하게 분배되어 물질을 처리할 수 있도록 하는 라디칼 발생 및 이송 장치에 관한 것이다.

**배경기술**

[0003] 화학 라디칼들은 높은 화학 반응성을 가진다. 이러한 성능에 기초하여 화학 라디칼들은 예를 들어 반도체 산업에서 세정, 에칭 및 증착 공정에 사용된다. 특히 플루오린화합물로부터 유래된 플루오린 라디칼은 반도체의 불순물의 제거 및 세정을 위해 널리 사용되고 있다.

[0004] 그러나, 이러한 플로린화합물들은 적외선을 잘 흡수하는 분자들이어서, 이 분자들의 대기로의 방출은 지구의 복사열 균형을 깨트려 지구온난화효과를 유발시킨다. 플로린화합물들 중 PFC(Perfluoro compound) 가스들은 대기 중에서 매우 긴 수명(예를 들어,  $CF_4$ 는 50,000년)을 가지고 있으며 GWP(Global Warming Potential)도 이산화탄소( $CO_2$ )의 수천 배 이상이다.

[0005] 이에, 반도체 산업은 플로린화합물의 사용을 줄이기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 그 방법으로서, 하드웨어적 공정 장치의 최적화, 미반응된 플로린화합물을 공정 후단에서 처리하는 경감(abatement), 포집, 재순환 기술 등이 반도체 산업의 대표적인 플로린화합물 저감 전략이다.

[0006] 다양한 전략들 중, 플라즈마 이용 공정은 에너지의 효율적 사용을 제시하고 있으며 100%에 가까운 URE(Utilization Removal Efficiency)를 얻을 수 있다. 플로린화합물들의 효율적인 비 지구온난화 가스들(non-global warming gases)로의 변환은 고밀도 플라즈마와 긴 반응시간을 가지도록 반응기의 설계와 공정의 산화기(oxidizer)의 추가로 달성될 수 있다.

[0007] 이에, 본 발명의 발명자들은 플로린화합물의 높은 분해율(URE)을 가지도록, 플라즈마를 이용하여 화학적 반응성이 높은 라디칼을 용이하게 생산해 내고, 이에 대한 효율적인 이송 및 분배를 제공하여, 플로린화합물의 사용을 줄여서, 지구온난화지수(GWP)가 큰 플로린화합물의 높은 분해율로 인해 미반응된 플로린화합물이 대기로 배출되는 것을 사전에 차단함으로써 지구 온난화를 예방에 일조할 수 있는 장치를 개발하기에 이르렀다.

**발명의 내용**

[0008] 본 발명은 전자파를 이용한 무전극 플라즈마를 이용하여 라디칼을 발생시키는 라디칼 발생부; 상기 라디칼 발생부와 유체 소통가능하게 연결되어 있으며, 상기 플라즈마의 영역을 확대하고, 발생된 라디칼을 이송하는 라디칼 이송관; 및 상기 라디칼 이송관과 유체 소통가능하게 연결되어 있으며, 상기 이송된 라디칼의 유체 흐름이 층류 흐름으로 전환되어 분배되도록 구성된 라디칼 분배부를 포함하는, 라디칼 발생, 이송 및 분배 장치를 제공한다.

[0009] 상기 라디칼 발생부는 방전관 및 도파관을 포함한다. 상기 방전관은 상기 도파관을 관통하여 위치한다. 상기 방전관으로 라디칼 발생 전구물질을 포함하는 플라즈마 가스가 공급되며, 상기 도파관을 통해 전자파가 방전관으로 전송되며, 상기 전자파에 의해 상기 방전관 내에 자기장이 발생하여, 상기 방전관 내에 플라즈마 및 상기 플라즈마에 의한 라디칼이 발생한다.

[0010] 상기 전자파의 발진 주파수는 902-928 MHz, 886-906 MHz, 또는 2.45 GHz의 주파수 범위, 바람직하게는 상기 전자파의 발진 주파수는 915 MHz, 896 MHz, 또는 2.45 GHz의 주파수이다.

[0011] 상기 라디칼 발생부는 예를 들어 고주파 무전극 플라즈마 토치 발생장치이다. 이에 대한 자세한 내용은 본원 특허의 발명자의 이전 등록 특허인, 대한민국 특허공보 10-0394994호가 참조된다. 이 특허는 본원에 그대로 참조로서 통합된다.

[0012] 상기 라디칼 발생 전구물질은 바람직하게는 플로린화합물이다. 상기 플로린화합물은 플로린을 포함하는 화합물이다. 예를 들어,  $NF_3$ ,  $SF_6$ ,  $CH_4$ ,  $C_2F_6$  및  $C_3F_8$ 로 구성되는 군으로부터 선택되는 하나 이상의 화합물일 수 있다.

[0013] 상기 라디칼은 플로린 라디칼이다. 상기 플로린 라디칼은 반도체 공정, 특히 CVD, 에칭 공정에서 발생되고 공정 챔버에 증착된 잔유물 또는 증착물을 처리하기 위해 사용된다.

[0014] 상기 라디칼은 플로린화합물의 플라즈마에 의한 분리 및 여기에 의한 자유라디칼 및 여기된 라디칼이다. 플로린 화합물의 플라즈마 처리는 플로린화합물들의 이온화, 분리, 여기에 따른, 자유라디칼( $F$ ), 여기된 라디칼( $F^*$ ), 양이온( $F^+$ ), 음이온( $F^-$ ) 및 전자를 발생시킨다. 본 발명에서 정의하는 라디칼은, 상기 이온 및 전자를 제외한 상기 자유라디칼( $F$ ), 및 여기된 라디칼( $F^*$ )을 말한다.

[0015] 상기 라디칼 발생부는 1기압 이하의 저압을 유지하도록 하는 실링부 및 진공펌프를 포함한다. 종래의 고주파 무전극 플라즈마 발생장치는 1기압에서 이뤄진다. 그러나 본 발명은 저압을 유지케하는 구성을 통해 저압에서 라디칼이 발생되도록 하여 화학적으로 반응성 높은 라디칼을 더 많이 대량으로 만들어 낼 수 있게 되었다.

- [0016] 본 발명의 상기 라디칼 이송관은 관형이며, 상기 라디칼 발생부의 하단에 위치하고, 상기 라디칼 발생부와 유체 소통 가능하게 연결되어 있으며, 상기 라디칼 이송관의 외면에 전자석 코일이 감겨져 있다.
- [0017] 상기 전자석 코일의 작동에 의해 상기 라디칼 이송관 내에 상기 라디칼 이송관의 종방향의 자기장을 형성한다. 상기 형성된 자기장은 상기 라디칼 발생부의 플라즈마를 상기 라디칼 이송관으로 더욱 확장시킨다.
- [0018] 상기 확장된 플라즈마는 플로린화합물의 분해율을 올리고, 플라즈마에 의해 발생한 이온 및 전자를 가두는 (confined) 역할을 한다.
- [0019] 추가로, 상기 라디칼 이송관의 외면에 냉각수 코일이 감겨져 있다. 상기 냉각수 코일을 통해, 이송되는 라디칼의 밀도를 감소를 억제한다.
- [0020] 상기 라디칼 분배부는 상기 이송관의 하단에 위치하며, 상기 라디칼 이송관과 유체 소통 가능하게 연결되어 있는 다수의 관통 개구를 포함한다.
- [0021] 상기 라디칼 분배부의 관통 개구는 상기 라디칼의 진행 방향에 따라 연장된 세장형일 수 있다. 예를 들어, 다발 형태의 작은 관들의 집합체일 수 있다.
- [0022] 대안적으로, 상기 라디칼 분배부의 관통 개구의 관통 방향은 상기 라디칼의 진행 방향에 대해 0도 내지 90도의 각을 이룰 수 있다. 이에 사용자의 요구 및 환경 조건에 맞는, 원하는 위치에 라디칼을 균등하게 분배할 수 있다.
- [0023] 상기 라디칼 분배부는 냉각수가 관통하고, 이를 통해 라디칼의 밀도 감소를 억제할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 이송관 및 분배부를 통한, 라디칼의 흐름은, 층류 흐름이다. 상기 층류 흐름은 레이놀즈 수(Reynolds number) 2200 이하, 바람직하게는 레이놀즈 수 1100 이하이다.
- [0025] 본 발명의 다른 측면으로서, 본 발명은 전자파를 이용한 무전극 플라즈마 발생 장치에서 방전관이 도파관을 관통하는 새로운 구조를 제공한다. 또한 플라즈마 발생부의 저압 유지를 위한 새로운 구성을 제공한다.
- [0026] 본 발명의 상기 도파관에 관통되어 있는 방전관은 상기 도파관의 관통된 두 외면위에 놓이도록 구성된, 상기 방전관의 외면에 외측으로 돌출된 두 개의 환형 디스크를 포함한다. 바람직하게는 상기 환형 디스크와 상기 도파관이 접하는 면에 실링을 위한 진공 실링 오링을 포함한다. 이러한 구성을 통해 플라즈마 발생부 및 라디칼 이송관의 저압, 바람직하게는 1기압 이하의 압력을 유지토록 한다.
- [0027] 상기 두 개의 환형 디스크를 포함하는 방전관의 도파관의 관통 설치를 위해 본 발명은 상기 도파관은 두 개의 관의 단축 단면이 결합된 구조를 가진다. 여기서 상기 단축 단면이 결합된 위치에, 상기 방전관은 관통되어 있다. 상기 두 관의 단축 단면의 결합은 플랜지에 의해 이뤄진다.
- [0028] 본 발명의 장치들은 플로린 화합물 내성 재료로 이뤄진다. 특히 본 발명의 방전관, 이송관 및 분배기는 플로린 화합물 내성 재료로 이뤄진다.

**도면의 간단한 설명**

- [0029] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자파를 이용한 전자파 플라즈마를 이용한 라디칼 발생 및 이송 장치를 개념적으로 나타낸 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자파를 이용한 전자파 플라즈마를 이용한 라디칼 발생 및 이송 장치를 개략적으로 보여주는 도면이다.
- 도 3는 본 발명의 라디칼 발생 및 이송장치(100)의 종단면을 개략적으로 설명하는 도면이다.
- 도 4a는 상기 전자파가 전송되는 도파관의 종단 및 이를 관통하여 위치한 방전관의 평면도를 보여준다.
- 도 4b는 상기 도파관과 이를 관통하는 방전관의 결합 상태를 예시하는 구성들의 조립도이다.
- 도 5는 라디칼 이송관의 종단면을 개략적으로 보여준다.
- 도 6은 라디칼 이송관의 하단에 위치한 라디칼 분배부를 예시하는 도면이다.

도 7은 라디칼 분배의 다발형 작은 관들이 임의의 각도로 배향되어 있음을 예시하는 도면이다.

도 8은 본 발명의 라디칼 이송관의 대안적인 형태로서, 이송관 종방향 길이만큼 연장된 다발형 다수의 관통 개구로 이뤄진 라디칼 이송관을 예시한다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0030] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자파를 이용한 전자파 플라즈마를 이용한 라디칼 발생 및 이송 장치를 개념적으로 나타낸 블록도이다.
- [0031] 도 1을 참조하면, 본 발명의 장치는 전원입력부(110), 마이크로웨이브 발진기(120), 마이크로웨이브 전송라인(130), 및 라디칼 발생 및 이송장치(100) 및 공정챔버(170)를 포함한다.
- [0032] 상기 라디칼 발생 및 이송장치(100)는 플라즈마가스 공급부(160), 플로린화합물 공급부(140), 플라즈마 발생부(150), 저압유지부(180), 및 라디칼이송관(190)를 포함한다.
- [0033] 상기 전원입력부(110)는 전파전압배출기와 펄스 및 직류(DC)장치로 구성되어 상기 마이크로웨이브 발진기(120)로 전력을 공급하도록 구성된다.
- [0034] 상기 마이크로웨이브 발진기(120)는 902-928 MHz, 886-906 MHz, 및 2.45 GHz의 주파수 범위, 바람직하게는 915 MHz, 896 MHz, 및 2.45 GHz의 주파수 범위의 전자파를 발진하는 마그네트론이 사용된다. 바람직하게는 상기 마이크로웨이브 발진기(120)는 915 MHz 및 2.45 전자파를 발진한다.
- [0035] 상기 마이크로웨이브 전송라인(130)은 도파관으로서, 상기 플라즈마 발생부(150)로 전송하도록 구성된다.
- [0036] 상기 플라즈마 발생부(150)는, 전자파가 전송되는 도파관(마이크로웨이브 전송라인(130))의 종단에 관통하여 위치하는 관형 방전관(310) 내 상기 전자파가 위치하는 영역에 해당된다. 상기 방전관(310)의 상부로, 플라즈마가스 공급부(160) 및 플로린화합물 공급부(140)를 통해 플로린화합물을 함유 가스가 공급된다. 상기 공급된 가스는 상기 플라즈마 발생부(170)에서 전자파에 의해 플라즈마(320)가 발생된다. 상기 플라즈마(320)에 의해 공급된 플로린 화합물은 이온화, 분리, 여기에 따른, 자유라디칼( $F$ ), 여기된 라디칼( $F^*$ ), 양이온( $F^+$ ), 음이온( $F^-$ ) 및 전자를 발생시킨다. 상기 플라즈마 발생부(170)는 아래에서 도 3이 참조되어 자세히 설명된다.
- [0037] 상기 라디칼이송관(190)은 상기 방전관(310)의 하단에 위치한다. 상기 라디칼이송관(190)은 상기 라디칼이 소통하도록 연결되어 있다. 상기 라디칼이송관(190)에 대해서는 도 5 내지 8이 참조되어 자세히 아래에서 설명된다.
- [0038] 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 전자파를 이용한 전자파 플라즈마를 이용한 라디칼 발생 및 이송 장치를 개략적으로 보여주는 도면이다.
- [0039] 전원입력부(110)는 마이크로웨이브 발진기(120)로 전력을 공급한다. 상기 마이크로웨이브 발진기(120)는 전자파를 발생시킨다. 상기 발생된 전자파는 순차적으로 순환기(210), 방향성 결합기(220), 정합기(230), 및 마이크로웨이브 전송라인(130)을 통해 플라즈마 발생부(150)로 전송된다.
- [0040] 상기 플로린화합물 함유 가스는 상기 플라즈마 가스 공급부(160) 및 플로린화합물 공급부(140)를 통해 방전관(310)의 상부를 통해 주입된다.
- [0041] 도 3는 본 발명의 라디칼 발생 및 이송장치(100)의 종단면을 개략적으로 설명하는 도면이다. 그리고 도 4a는 상기 전자파가 전송되는 도파관(130)의 종단 및 이를 관통하여 위치한 방전관(310)의 평면도를 보여준다. 도 4b는 상기 도파관(130)과 이를 관통하는 방전관(310)의 결합 상태를 예시하는 구성들의 조립도이다.
- [0042] 도 3 및 도 4를 통해 확인되는 바와 같이, 관형 방전관(310)은 전자파가 전송되는 도파관(마이크로웨이브 전송라인(130))의 종단을 관통하고 있다. 상기 도파관(130)의 종단은 막혀있어서, 전송된 전자파는 반사된다. 바람직하게 상기 도파관(130)의 종단 끝의 1/4 파장이 되는 곳에 방전관(310)이 관통되도록 하여, 가장 강한 전기장이 방전관(310) 내에 나타나도록 한다.
- [0043] 상기 방전관(310)의 상부로, 플라즈마가스 공급부(160) 및 플로린화합물 공급부(140)를 통해 플로린화합물을 함유 가스가 공급된다. 상기 방전관(310) 내로 공급되는 가스는 방전관(310) 내벽에 접선방향으로 스윙가스(Swirl

Gas)로 유입된다. 스웰가스로 주입되지 아니하면 플라즈마(320)는 마이크로웨이브가 들어오는 쪽으로 밀도가 편재된다. 스웰가스로의 주입은 방전관(310) 내에 플라즈마(320)의 균등 분포를 제공한다.

- [0044] 상기 공급된 가스는 상기 방전관(310) 내에서, 전송된 전자파에 의한 강한 전기장에 의해 플라즈마(320)가 형성된다. 상기 플라즈마(320)는, 플로린 화합물을 이온화, 분리 및 여기 시킨다. 이에, 플로린 화합물은 자유라디칼( $F$ ), 여기된 라디칼( $F^*$ ), 양이온( $F^+$ ), 음이온( $F^-$ ) 및 전자를 발생시킨다.
- [0045] 상기 라디칼 이송관(190)은 상기 방전관(310)의 하단에 위치한다. 상기 라디칼 이송관(190)은 상기 라디칼 및 상기 플라즈마가 소통하도록 연결되어 있다. 상기 라디칼 이송관(190)에 대해서는 도 5 내지 8이 참조되어 자세히 아래에서 설명된다.
- [0046] 상기 도파관(130)에 관통되어 있는 방전관(310)은 상기 도파관(130)의 관통된 두 외면(330, 340) 위에 놓이도록 구성된, 상기 방전관(310)의 외면에 외측으로 돌출된 두 개의 환형 디스크(350, 360)를 포함한다. 상기 환형 디스크(350, 360)와 상기 도파관(130)이 접하는 면(330, 340)에 실링을 위한 진공 실링 오링(370)을 포함한다. 이를 통해 플라즈마 발생부 및 라디칼 이송관(190)의 저압, 바람직하게는 1기압 이하의 압력을 유지토록 한다. 도면에는 도시되지 않았지만, 저압 유지를 위해 진공펌프를 추가로 포함할 수 있다.
- [0047] 상기와 같은 저압 유지는 스웰가스에 의한 플라즈마(320)의 축방향으로 안정화를 방해한다. 특히, 본 발명의 저압 유지를 위한 진공펌프는 스웰가스 주입부로 주입되는 가스가 빠르게 휩쓸려 스웰의 형성을 방해한다.
- [0048] 본 발명은 상기 플라즈마의 축방향으로의 안정화를 위해, 좁은 방전관(310) 내로 빠른 유량의 공급 가스를 주입한다. 본 발명의 플라즈마 공급 가스의 속도는 수 내지 수십 lpm이다.
- [0049] 또한 대안적으로, 본 발명은 스웰가스 주입각도를 방전관(310)의 축방향에 따라 0도 내지 90도로 조절하여 상기 플라즈마의 축방향으로의 안정화를 제공한다. 스웰가스의 강한 유지를 위해 상기 주입각도를 높인다.
- [0050] 상기 이송관의 하단에 플랜지 형태의 공정챔버 연결부(390)를 포함할 수 있다.
- [0051] 상기 설명된 구조의 두 개의 환형 디스크(350, 360)를 포함하는 방전관(310)이 도파관(130)에 관통된 결합 구조를 가지기 위해, 본 발명은 두 개의 관의 단축 단면이 결합된 구조의 도파관(130)을 제공한다. 도 4b에서 확인되는 바와 같이, 상기 도파관(130)은 두 개의 관의 단축 단면이 결합된 구조를 가진다. 여기서 두 개의 관 중 하나는 전자파가 이송되어오는 쪽의 관이며, 다른 하나는 다른 관을 덮는 뚜껑과 같은 한 측이 닫힌 관이다. 여기서 상기 단축 단면이 결합된 위치에, 상기 방전관(310)은 관통된다. 상기 두 관의 단축 단면의 결합은 플랜지(410)에 의해 이뤄진다.
- [0052] 도파관(130)을 환형 방전관(310)이 관통되기 위한 원통형 방전관(310)의 외경 크기의 개구를 타공하는 방식에 따른 원통형 방전관(310)의 도파관(130)의 관통은 밀봉을 보장할 수 없고, 이는 저압 유지에 도움이 되지 않을 것이다. 이에 도파관(130)의 단축으로 그리고 방전관(310)이 관통될 방전관(310)의 외경 크기의 개구가 위치할 부분이 절단되도록, 도파관(130)을 두 부분으로 절단한다. 절단된 두 도파관(130)은 플랜지(410)를 통해 결합시킨다. 상기 플랜지(410) 면끼리의 결합은 밀봉을 보장하기 위해 진공 실링 오링(371)이 적용된다. 상기 방전관(310)이 관통될 외경 크기의 반원을 절단된 두 개의 도파관(130)의 단부에 각각 형성시킨다. 방전관(310)이 상기 도파관(130)의 반원형으로 절단된 부위에 끼워진다. 이때 상기 도파관(130)의 두 개의 환원 디스크는 도파관(130)에 두 외면 위에 놓인다.
- [0053] 도 5는 라디칼 이송관(190)의 종단면을 개략적으로 보여준다.
- [0054] 상기 라디칼 이송관(190)은 원통형관 형태이다. 상기 이송관(190)은 상기 라디칼 발생부의 하단에 위치한다.
- [0055] 상기 이송관(190)은 상기 라디칼 발생부와 유체 소통 가능하게 연결되어 있다. 유체 소통 가능함이란, 상기 라디칼 발생부에서 발생된 플라즈마의 상기 이송관으로의 확장이 가능하고, 상기 라디칼 발생부에서 발생된 라디칼의 상기 이송관으로의 이동이 가능함을 말한다. 상기 라디칼 발생부로부터 발생된 라디칼은 상기 라디칼 이송관(190)으로 유체 흐름에 따라 전달된다.
- [0056] 상기 이송관(190)의 외면에는 전자석 코일(510)이 감겨져 있다. 상기 전자석 코일(510)의 작동에 의해 전자파가 인가되어 원형통 내부에 상기 라디칼의 진행 방향인 종축 방향의 자기장이 형성된다. 상기 형성된 자기장은 상

기 라디칼 발생부의 플라즈마(320)를 상기 이송관(190)까지 확장시킨다. 상기 확장된 플라즈마(320)는 플로린화합물의 분해율을 올리고, 플라즈마(320)에 의해 발생한 이온 및 전자를 가두는(confined) 역할을 한다.

[0057] 또한 상기 이송관(190)의 외면에는 냉각수 코일(520)이 감겨져 있다. 냉각수 코일(520)은 이송관(190)을 냉각시킨다. 상기 냉각수 코일(520)을 통해, 이송되는 라디칼의 밀도를 감소를 억제한다.

[0058] 도 6은 라디칼 이송관(190)의 하단에 위치한 라디칼 분배부(380)를 예시하는 도면이다. 본 발명의 라디칼 이송관(190)은 하단에 라디칼 분배부(380)를 포함한다.

[0059] 상기 라디칼 이송관(190)과 유체 소통 가능하게 연결되어 있는 다수의 관통 개구(610)를 포함한다.

[0060] 상기 라디칼 분배부(380)의 관통 개구(610)는 상기 라디칼의 진행 방향에 따라 연장된 형태일 수 있다. 예를 들어, 다발 형태의 작은 관들의 집합체일 수 있다. 상기 다발형 작은 관은 난류 형태의 라디칼 흐름을 층류 형태의 라디칼 흐름을 전환시킨다. 상기 다발형 작은 관은 라디칼의 분배를 균일하게 한다.

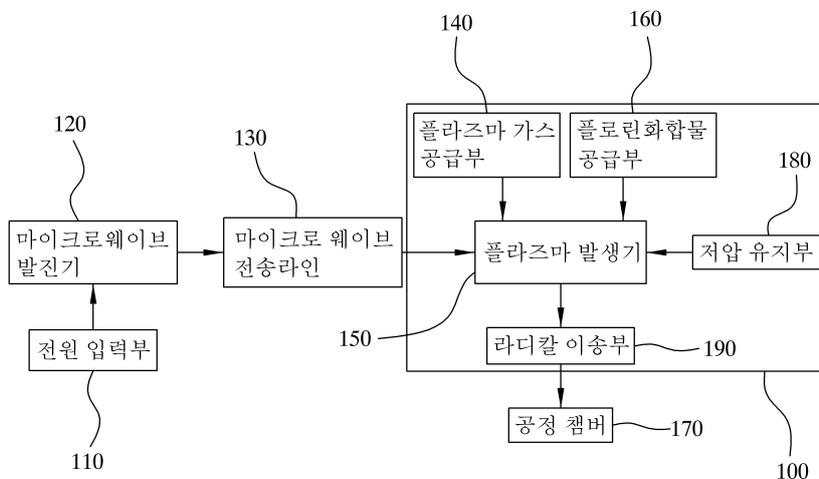
[0061] 상기 라디칼 분배부(380)의 외면에는 냉각수 코일(520)이 감겨져 있다. 대안적으로 상기 분배부(380)에는 냉각수가 관통한다. 이를 통해 분배부(380)를 냉각시켜 이송되는 라디칼의 밀도를 감소를 억제한다.

[0062] 도 7은 라디칼 분배의 다발형 작은 관들이 임의의 각도로 배향되어 있음을 예시하는 도면이다. 대안적으로, 상기 라디칼 분배부(380)의 관통 개구(610)의 관통 방향은 상기 라디칼의 진행 방향에 대해 0도 내지 90도의 각을 이룰 수 있다. 이에 사용자의 요구 및 환경 조건에 맞는, 원하는 위치에 라디칼을 균등하게 분배할 수 있다.

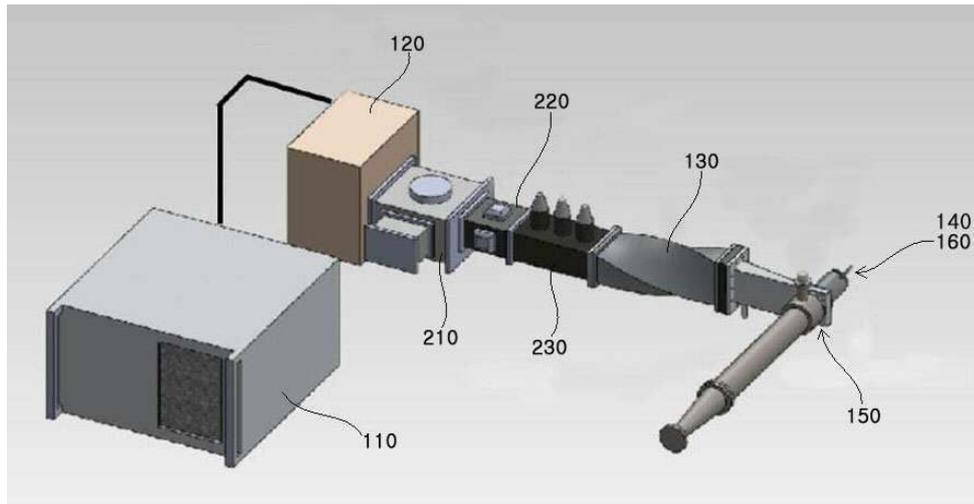
[0063] 도 8은 본 발명의 라디칼 이송관(190)의 대안적인 형태로서, 이송관(190) 종방향 길이만큼 연장된 다발형 다수의 관통 개구(610)로 이뤄진 라디칼 이송관(190)을 예시한다. 상기 외면에는 전자석 코일(510) 및/또는 냉각수 코일(520)이 상기 설명된 목적 달성을 위해 위치할 수 있다.

**도면**

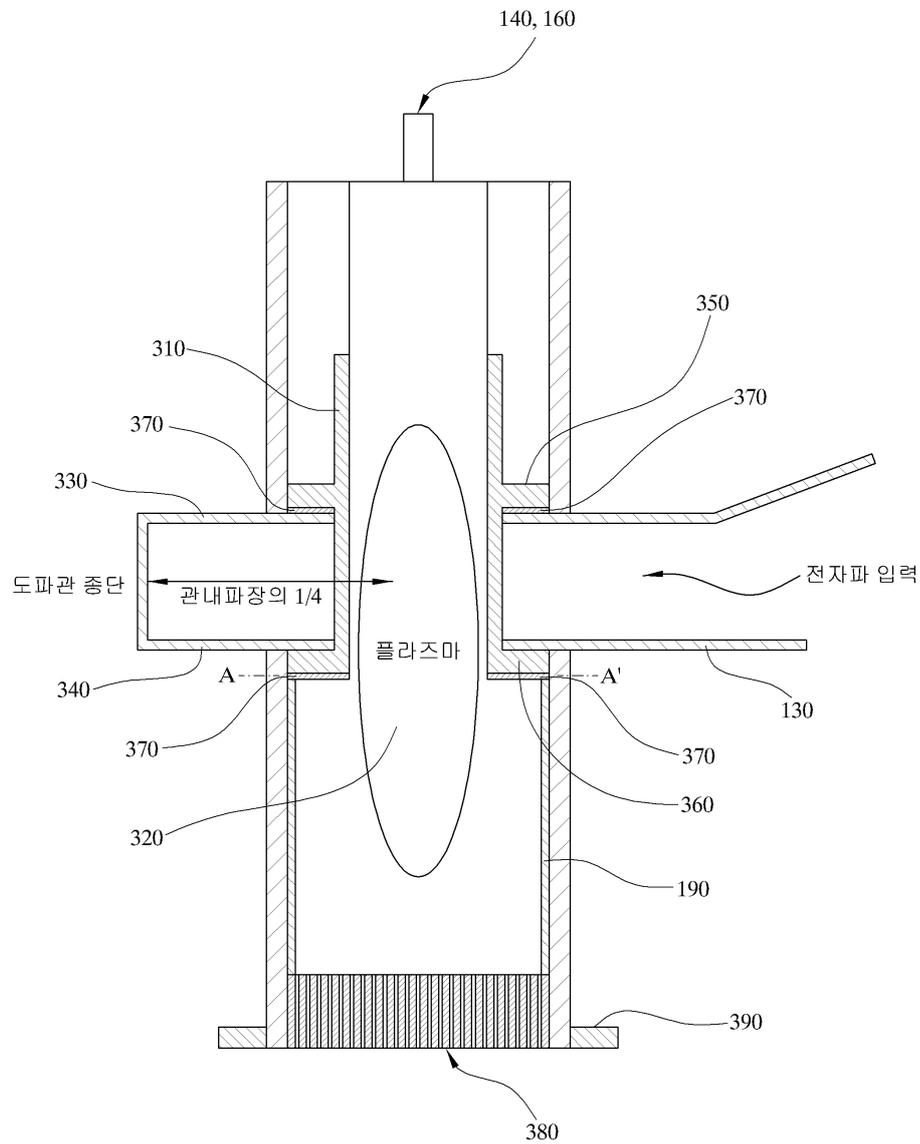
**도면1**



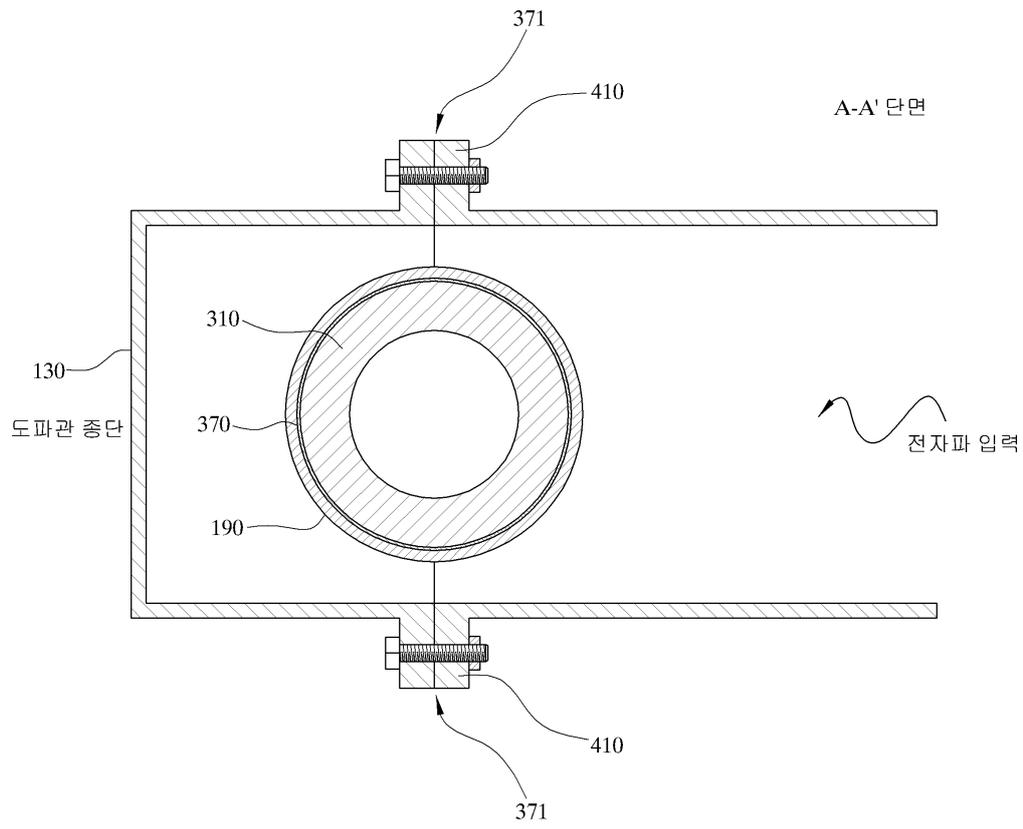
도면2



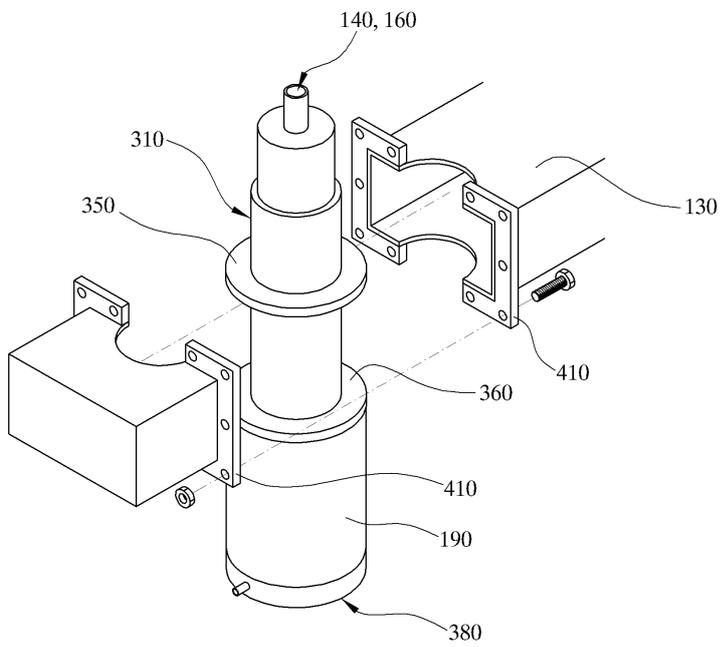
도면3



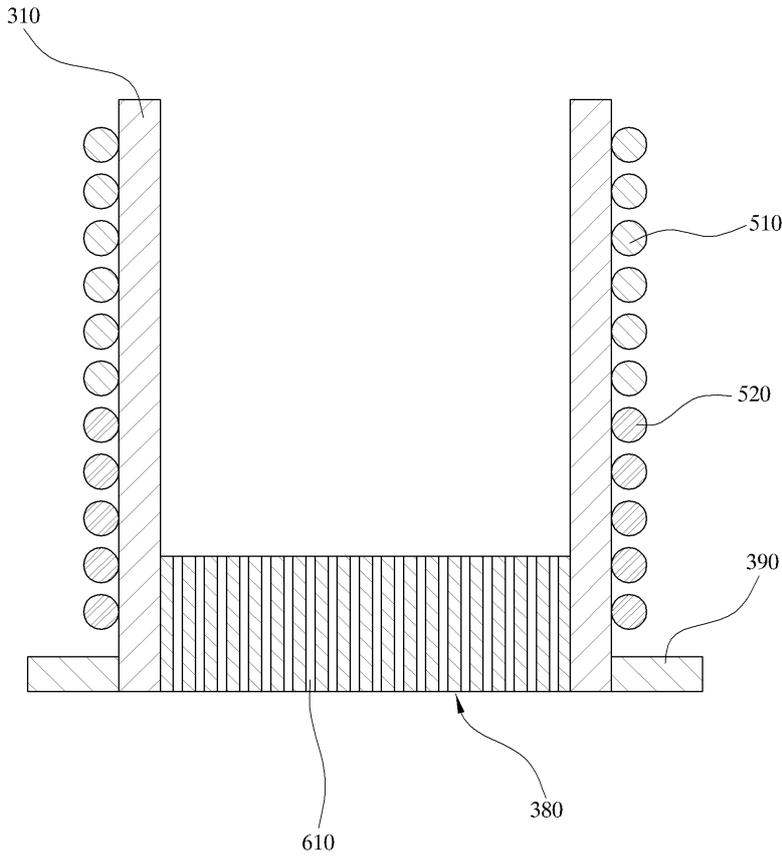
도면4a



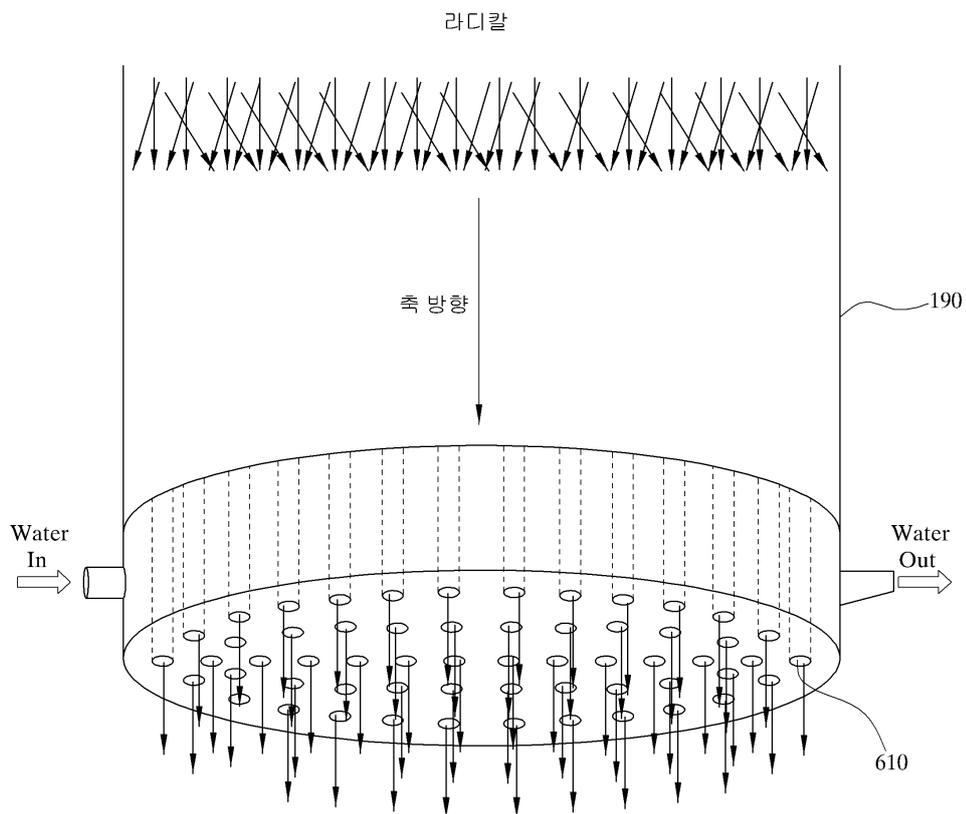
도면4b



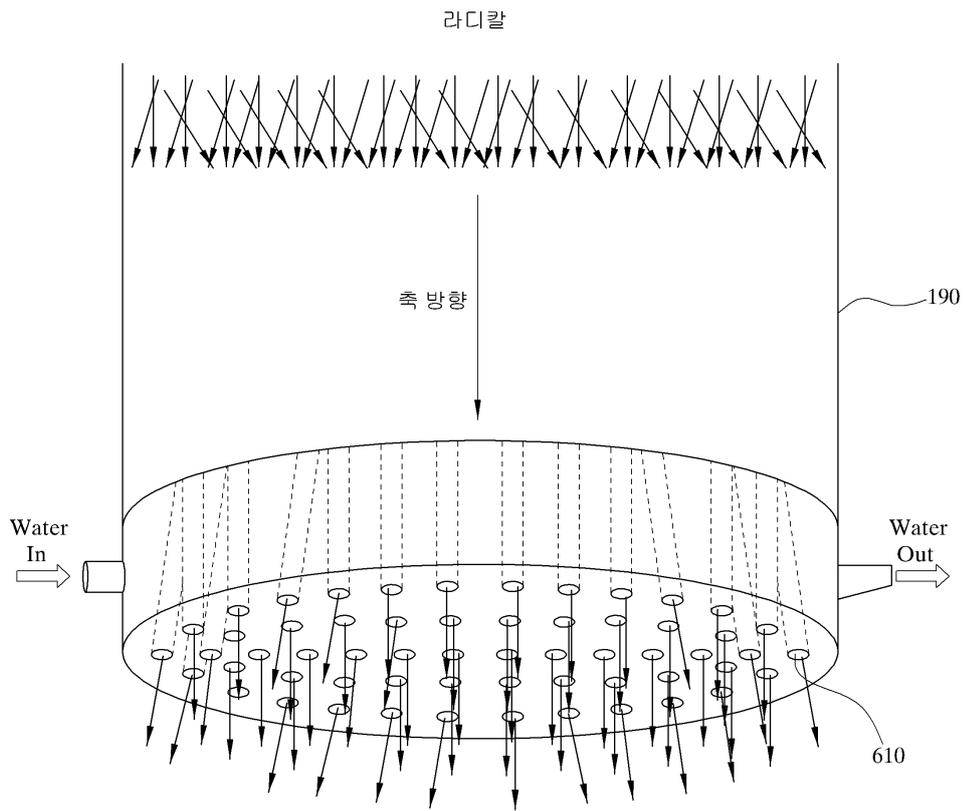
도면5



도면6



도면7



도면8

