



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월27일
 (11) 등록번호 10-1842675
 (24) 등록일자 2018년03월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 H01L 21/67 (2006.01) C23C 16/24 (2006.01)
 C23C 16/26 (2006.01) C23C 16/34 (2006.01)
 C23C 16/46 (2006.01) C23C 16/503 (2006.01)
 C23C 16/505 (2006.01) H01J 37/32 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-7003280

(22) 출원일자(국제) 2010년07월08일
 심사청구일자 2015년07월07일

(85) 번역문제출일자 2012년02월07일

(65) 공개번호 10-2012-0062700

(43) 공개일자 2012년06월14일

(86) 국제출원번호 PCT/US2010/041440

(87) 국제공개번호 WO 2011/006018
 국제공개일자 2011년01월13일

(30) 우선권주장
 61/224,047 2009년07월08일 미국(US)
 61/322,788 2010년04월09일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
 US20050217798 A1
 (뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 17 항

(73) 특허권자
플라즈마시, 인크.
 미국 94538 캘리포니아주 프리몬트 스피넬커 코트 3754

(72) 발명자
사바스 스티븐 에드워드
 미국 94538 캘리포니아주 프리몬트 에버글레이즈 파크 드라이브 42849

갈레우스키 칼
 미국 95065 캘리포니아주 산타 크루스 홀 랜치 알다., 1650
 (뒷면에 계속)

(74) 대리인
특허법인 남앤드남

심사관 : 손희수

(54) 발명의 명칭 **플라즈마 처리를 위한 장치 및 방법**

(57) 요약

본 발명에 따르면, 반도체, 도체 또는 절연체 피막의 증착, 식각 또는 처리에 적절한 플라즈마-기반 처리를 위한 장치 및 방법이 제공된다. 플라즈마 발생 유닛은 기관의 처리 측면 상의 1개 이상의 긴 전극 그리고 기관의 대향 측면에 근접한 중성 전극을 포함한다. 전기적으로 파괴되고 기관 영역을 향해 유동되는 활성화 화학종을 생성하는 가스가 전력-공급 전극에 근접하게 주입될 수 있다. 이러한 가스는 그 다음에 전력-공급 전극과 기관 사이의 연장 처리 영역 내로 유동되고, 그에 의해 반응물 원료의 효율적인 이용으로써 높은 속도로 기관에 제어된 연속의 반응성을 제공한다. 가스는 전력-공급 전극들 또는 전극과 분할기 사이의 통로를 거쳐 배기된다.

(72) 발명자

위스노스키 앨런 비.

미국 94566 캘리포니아주 플레젠튼 베이 미도우즈
썬클 2315

멘트리프라가다 사이

미국 94555 캘리포니아주 프리몬트 에단 테라스
34277

조 수연

미국 94551 캘리포니아주 라이브모어 위퍼윌 스트
리트 1604

(56) 선행기술조사문헌

KR1020050014715 A*

KR1020060063900 A*

WO2008082297 A1*

US6962664 B2

US6779482 B2

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

기관의 플라즈마 처리를 위한 장치이며,

전원과;

적어도 제1 전극 및 제2 전극을 포함하는 적어도 2개의 전극을 포함하는 적어도 1개의 플라즈마 발생 유닛(PGU)으로서, 제1 전극은 전원에 결합되는 전력 공급 전극인, 플라즈마 발생 유닛(PGU)과;

기관의 제1 측면이 PGU에 근접한 상태로 기관을 위치시키는 지지부와;

제1 전극과 제2 전극 사이에 그리고 제1 전극과 기관 사이에 제1 가스의 유동을 제공하도록 구성되는 제1 가스 입구 그리고 적어도 1개의 배기 포트와;

제1 가스가 유동하여 통과하는 영역 내로의 입구를 갖는, 제1 전극 내의 매니폴드에 연결되는 제2 가스의 제어되는 공급부

를 포함하고,

전극의 각각은 길이 및 폭을 갖고, 각각의 전극의 각각의 길이는 각각의 전극의 폭의 적어도 4배이고,

제1 전극 및 제2 전극은 제1 전극과 제2 전극 사이의 최소 거리가 제1 전극의 폭보다 작도록 서로에 대해 위치되고,

제1 전극은 제1 전극으로부터 기관까지의 최소 거리가 제1 전극의 폭보다 작도록 위치되고,

상기 지지부는 상기 제1 전극의 전방 표면과 상기 기관 사이의 간극에 플라즈마를 지속시키기 위한 제3 전극을 형성하고,

제2 가스 입구는, 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이의 플라즈마 안으로 상기 제1 가스 유동을 주입시키도록 구성되는 상기 제1 가스 입구의 제1 가스 유동 다운스트림의 방향으로 위치되는,

기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 제2 전극은 전원에 결합되는 전력 공급 전극인, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 제1 전극으로부터 기관까지의 최소 거리는 15 mm 미만인, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 제1 전극은 기관의 제1 측면과 대면하는 전방 표면을 갖고,

제1 전극은 각각 전방 표면에 직각인 제1 측면 표면 및 제2 측면 표면을 갖고,

제2 전극은 제1 전극의 제1 측면 표면에 평행한 제1 측면 표면을 갖는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 제1 가스 입구는 제1 전극과 제2 전극 사이의 영역 내로 제1 가스를 주입하도록 위치되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 가스 입구 및 배기 포트는 제1 전극과 기관 사이에 가스 유동을 유도하고 PGU의 전극들 중 적어도 하나의 측면을 따라 기관으로부터 멀어지게 가스를 배기하도록 구성되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 제1 가스 입구는 제1 전극의 제1 측면에 근접하고, 배기 포트는 제1 전극의 제2 측면에 근접하고,

제2 가스를 위한 제2 가스 입구는 제1 전극과 제2 전극 사이의 플라즈마 내로 제1 전극으로부터 직접적으로 처리 가스를 주입하도록 제1 전극의 표면 내에 형성되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 기관의 처리 중에 50 Pa 내지 2,000 Pa의 범위 내에서 가스 압력을 유지하도록 구성되는 가스 공급 시스템 및 진공 펌프를 추가로 포함하고,

가스 공급 시스템에 의해 공급된 가스는 실리콘 질화물 층을 증착하도록 선택되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 9

기관의 플라즈마 처리를 위한 장치이며,

처리 챔버와;

처리를 위해 처리 챔버 내에 기관을 위치시키는 지지부와;

복수개의 플라즈마 발생 유닛(PGU)으로서, 각각의 PGU는 적어도 제1 전극 그리고 적어도 1개의 다른 요소를 포함하고, 제1 간극이 제1 전극과 다른 요소 사이에 형성되고, 제2 간극이 제1 전극과 기관 사이에 형성되는, 복수개의 플라즈마 발생 유닛(PGU)과;

각각의 PGU에 대한 제1 간극 및 제2 간극을 통해 제1 가스의 유동을 유도하도록 구성되는 가스 공급 시스템 및 가스 배기 시스템과 - 상기 가스 공급 시스템은 제1 가스 입구를 포함함 -;

제1 가스의 유동 스트림 내로 제2 가스를 주입하도록 구성되는 독립된 제2 가스 공급 시스템과;

플라즈마가 각각의 PGU에 대한 제1 간극 및 제2 간극 내에서 지속되도록 각각의 PGU의 제1 전극에 교류(AC) 전력을 제공하도록 구성되는 전원 시스템

을 포함하고,

각각의 PGU의 제1 전극은 길이 및 폭을 갖고, 각각의 제1 전극의 각각의 길이는 각각의 제1 전극의 폭의 적어도 4배이고,

각각의 PGU의 제1 전극은 제2 간극이 제1 전극의 폭보다 작도록 위치되고,

상기 지지부는 상기 제1 전극의 전방 표면과 상기 기관 사이의 간극에 플라즈마를 지속시키기 위한 제3 전극을 형성하고,

제2 가스 입구는, 상기 제1 전극과 상기 다른 요소 사이의 플라즈마 안으로 상기 제1 가스 유동을 주입시키도록 구성되는 상기 제1 가스 입구의 제1 가스 유동 다운스트림의 방향으로 위치되는,

기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 제1 전극은 제1 측면 표면을 갖고, 제2 전극은 제1 전극의 제1 측면 표면과 대면하는 제1 측면 표면을 갖고, 제1 전극의 제1 측면 표면과 제2 전극의 제1 측면 표면 사이의 거리는 그 길이를 따라 일정한, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 11

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 배기 포트는 제1 전극과 대향되는 제2 전극의 측면에 근접한, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 12

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 가스 입구 및 배기 포트는 하나의 방향으로 기관에 인접하게 그리고 그에 평행하게 제1 전극과 기관 사이에 처리 가스의 유동을 유도하도록 구성되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 13

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 가스 입구는 제1 전극과 제2 전극 사이에 가스를 주입하도록 위치되고, 복수개의 추가의 가스 입구가 제1 전극 내에 형성되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 14

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 가스 공급 시스템은 제1 전극과 제2 전극 사이의 가스 입구에 제1 가스를 제공하고 제1 전극 내의 가스 분배 시스템에 제2 가스를 제공하도록 구성되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 15

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 제2 전극은 전원에 결합되는 전력 공급 전극이고, 제2 전극에 공급된 전류는 제1 전극에 공급된 전력과 동일한 크기 그리고 반대의 극성을 갖는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 16

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 전원은 1 Mhz 내지 150 Mhz의 주파수 범위 내에서 제1 전극에 rf 또는 VHF 전력을 제공하도록 구성되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 17

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 전원은 50 Mhz 미만의 주파수에서 제1 전극에 전력을 제공하도록 구성되는, 기관의 플라즈마 처리를 위한 장치.

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

- 청구항 26
- 삭제
- 청구항 27
- 삭제
- 청구항 28
- 삭제
- 청구항 29
- 삭제
- 청구항 30
- 삭제
- 청구항 31
- 삭제
- 청구항 32
- 삭제
- 청구항 33
- 삭제
- 청구항 34
- 삭제
- 청구항 35
- 삭제
- 청구항 36
- 삭제
- 청구항 37
- 삭제
- 청구항 38
- 삭제
- 청구항 39
- 삭제
- 청구항 40
- 삭제
- 청구항 41
- 삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

- 청구항 58
- 삭제
- 청구항 59
- 삭제
- 청구항 60
- 삭제
- 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

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

청구항 90

삭제

청구항 91

삭제

청구항 92

삭제

청구항 93

삭제

청구항 94

삭제

청구항 95

삭제

청구항 96

삭제

청구항 97

삭제

청구항 98

삭제

청구항 99

삭제

청구항 100

삭제

청구항 101

삭제

청구항 102

삭제

청구항 103

삭제

청구항 104

삭제

청구항 105

삭제

- 청구항 106
삭제
- 청구항 107
삭제
- 청구항 108
삭제
- 청구항 109
삭제
- 청구항 110
삭제
- 청구항 111
삭제
- 청구항 112
삭제
- 청구항 113
삭제
- 청구항 114
삭제
- 청구항 115
삭제
- 청구항 116
삭제
- 청구항 117
삭제
- 청구항 118
삭제
- 청구항 119
삭제
- 청구항 120
삭제
- 청구항 121
삭제

청구항 122

삭제

청구항 123

삭제

청구항 124

삭제

청구항 125

삭제

청구항 126

삭제

청구항 127

삭제

청구항 128

삭제

청구항 129

삭제

청구항 130

삭제

청구항 131

삭제

청구항 132

삭제

청구항 133

삭제

청구항 134

삭제

청구항 135

삭제

청구항 136

삭제

청구항 137

삭제

- 청구항 138
- 삭제
- 청구항 139
- 삭제
- 청구항 140
- 삭제
- 청구항 141
- 삭제
- 청구항 142
- 삭제
- 청구항 143
- 삭제
- 청구항 144
- 삭제
- 청구항 145
- 삭제
- 청구항 146
- 삭제
- 청구항 147
- 삭제
- 청구항 148
- 삭제
- 청구항 149
- 삭제
- 청구항 150
- 삭제
- 청구항 151
- 삭제
- 청구항 152
- 삭제
- 청구항 153
- 삭제

청구항 154

삭제

청구항 155

삭제

청구항 156

삭제

청구항 157

삭제

청구항 158

삭제

청구항 159

삭제

청구항 160

삭제

청구항 161

삭제

청구항 162

삭제

청구항 163

삭제

청구항 164

삭제

청구항 165

삭제

청구항 166

삭제

청구항 167

삭제

청구항 168

삭제

청구항 169

삭제

- 청구항 170
- 삭제
- 청구항 171
- 삭제
- 청구항 172
- 삭제
- 청구항 173
- 삭제
- 청구항 174
- 삭제
- 청구항 175
- 삭제
- 청구항 176
- 삭제
- 청구항 177
- 삭제
- 청구항 178
- 삭제
- 청구항 179
- 삭제
- 청구항 180
- 삭제
- 청구항 181
- 삭제
- 청구항 182
- 삭제
- 청구항 183
- 삭제
- 청구항 184
- 삭제
- 청구항 185
- 삭제

청구항 186

삭제

청구항 187

삭제

청구항 188

삭제

청구항 189

삭제

청구항 190

삭제

청구항 191

삭제

청구항 192

삭제

청구항 193

삭제

청구항 194

삭제

청구항 195

삭제

청구항 196

삭제

청구항 197

삭제

청구항 198

삭제

청구항 199

삭제

청구항 200

삭제

청구항 201

삭제

- 청구항 202
삭제
- 청구항 203
삭제
- 청구항 204
삭제
- 청구항 205
삭제
- 청구항 206
삭제
- 청구항 207
삭제
- 청구항 208
삭제
- 청구항 209
삭제
- 청구항 210
삭제
- 청구항 211
삭제
- 청구항 212
삭제
- 청구항 213
삭제
- 청구항 214
삭제
- 청구항 215
삭제
- 청구항 216
삭제
- 청구항 217
삭제

- 청구항 218
- 삭제
- 청구항 219
- 삭제
- 청구항 220
- 삭제
- 청구항 221
- 삭제
- 청구항 222
- 삭제
- 청구항 223
- 삭제
- 청구항 224
- 삭제
- 청구항 225
- 삭제
- 청구항 226
- 삭제
- 청구항 227
- 삭제
- 청구항 228
- 삭제
- 청구항 229
- 삭제
- 청구항 230
- 삭제
- 청구항 231
- 삭제
- 청구항 232
- 삭제
- 청구항 233
- 삭제

청구항 234

삭제

청구항 235

삭제

청구항 236

삭제

청구항 237

삭제

청구항 238

삭제

청구항 239

삭제

청구항 240

삭제

청구항 241

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 분야는 플라즈마 처리를 위한 장치 및 방법에 관한 것이며, 더 구체적으로는 반도체, 도체 또는 절연체 피막의 증착(deposit), 식각(etching) 또는 트리트먼트(treatment)를 위한 교류 전류 유도식 플라즈마 처리, 또는 더 작은 기판, 직사각형 기판 또는 연속 밴드 기판(continuous band substrate)을 보유하는 캐리어(carrier)에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 증착, 식각, 세정 및 표면 트리트먼트(surface treatment)를 위한 플라즈마 강화 처리(plasma enhanced process)의 개발은 집적 회로(IC: integrated circuit), 액정 디스플레이(LCD: liquid crystal display) 및 광전지(PV: photovoltaic) 패널 등의 많은 제조 산업에서 진보를 지속하는데 도움이 되어 왔다.

[0003] 플라즈마 강화 처리를 위한 예시의 반응기는 평행 판 용량성 및 극초단파 방전 반응기를 포함한다. 더 큰 기판을 처리하는 스케일링 반응기(scaling reactor)는 요구된 피막 성질 및 균일성을 유지하도록 단위 면적당 더 낮은 전력 밀도 및 가스 농도에서 동작되어야 하는 필요성 때문에 제조 비용을 상승시킬 수 있다.

[0004] IC 및 LCD 산업을 위해, 더 큰 기판에 대한 스케일링 플라즈마 강화 처리의 비용은 단위 면적당 증가된 기능성(IC) 그리고 더 큰 단면적에 대한 더 높은 가격을 부과할 수 있는 능력(LCD)에 의해 부분적으로 차감된다. 반면에, PV 패널 산업은 광 대 전기 에너지의 더 높은 변환 효율을 갖는 패널을 제조하도록 증착 방법을 개선하면 서도 단위 면적당 제조 비용 및 에너지 사용을 직접적으로 감소시키는 방법을 찾아내는 데 있어서 추가의 도전 과제에 직면한다. PV 패널을 제조하는 하나의 방법은 실리콘 함유 박막의 플라즈마 강화 화학 증착(PECVD: Plasma Enhanced Chemical Vapor deposition)을 수반한다.

[0005] 그러나, 고-에너지 이온(>10 eV)에 의한 충돌, 가스 상 내에서의 실리콘 입자의 형성 그리고 금속 오염은 전기 에너지로 광을 변환하는 효율을 감소시키는 증착된 실리콘 피막 내의 결함에 기인할 수 있는 인자이다. 많은 PECVD 처리에 대해, 경제성, 고속 증착, (큰 직사각형 기판의 모서리 및 코너를 포함하는) 큰 면적의 기판에 걸

친 균일성 그리고 효율적인 원료-가스 이용을 성취할 것이 요구될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0006]

본 발명의 신규 특징은 첨부된 특허청구범위 내에 구체적으로 기재되어 있다. 본 발명의 특징 및 장점의 더 양호한 이해가 본 발명의 원리가 이용되는 예시 실시예를 기재하고 있는 다음의 상세한 설명 그리고 첨부 도면을 참조하면 얻어질 것이다.

도1은 본 발명의 예시 실시예에 따른 근접하게 이격된 PGU를 갖는 처리 시스템의 단면도이다.

도2는 본 발명의 예시 실시예에 따른 개별적으로 장착된 PGU를 갖는 처리 시스템의 단면도이다.

도3은 기관 위치와 관련하여 예시의 넓은 및 좁은 전극의 치수 중횡비의 사시도이다.

도4a-도41은 본 발명의 예시 실시예에 따른 12개의 예시의 PGU 구성의 개략 단면도이다.

도5는 예시 실시예에 따른 대칭의 2개의 전극 PGU의 무선 주파수(RF: radio frequency) 또는 VHF 공급 구성 및 플라즈마 영역의 단면도이다.

도6은 균일한 가스 유동 경로 그리고 예시 실시예에 따른 다중 소스를 요구하는 적용 분야를 위한 예시 배열을 도시하고 있다.

도7은 전극 본체에 대해 좁을 간극을 갖는 상태로 전극에 장착되는 유전성 실드 또는 라이너의 추가를 갖는 도6의 예시 배열을 도시하고 있다.

도8은 예시 실시예에 따른 기관 처리 영역에 추가된 반응성 가스의 균일하게 제어된 분포로서 2개의 독립 가스 유동 채널의 결합이 추가되게 하는 예시의 가스 주입 특징부를 도시하고 있다.

도9는 기관 표면을 따라 단지 1개의 방향으로 가스 유동을 성취하는 대체예의 PGU 실시예를 도시하고 있다.

도10은 균일한 가스 유동 경로 그리고 예시 실시예에 따른 다중 소스를 요구하는 적용 분야에 대한 예를 도시하고 있다.

도11은 비-직사각형 전극 단면을 이용하는 대체예의 PGU 실시예를 도시하고 있다.

도12는 예시 실시예에서 전극들 사이 그리고 전극들과 기관 사이의 간극 영역의 근접도이다.

도13은 5개의 PGU를 갖는 예시 실시예에 따른 반응기 챔버의 단면도이고, 여기에서 제1의 2개의 PGU는 가스 A, 가스 B 및 가스 C를 사용하여 처리를 수행하고, 제3 PGU는 분리를 제공하도록 단지 불활성 가스 He 및 Ar을 사용하고, 마지막 2개의 PGU는 상이한 처리를 수행하도록 가스 D, 가스 E 및 가스 F를 사용한다.

도14는 받침대(pedestal)를 갖는 예시 실시예에 따른 반응기 챔버의 단면도이고, 이러한 받침대는 그 자체와 기관 사이에서의 가스 주입 및 펌핑을 위한 다중의 작은 별개의 구멍을 제공한다.

도15는 예시 실시예에 따른 기관 지지부 및 기관의 단면도이고, 여기에서 구획된 개구로부터의 기관 지지부로부터의 가스 주입 및 펌핑이 있다.

도16은 예시 실시예에 따른 기관 지지부 및 기관의 단면도이고, 여기에서 지지부는 구획된 가스 주입기를 갖고, 전기장이 펌핑을 위해 사용되는 더 큰 직경의 채널 내로 침투되는 것을 방지하는 다공질 가스-전도성 및 전기 전도성 재료에 의해 충전되는 펌핑 구멍을 갖는다.

도17은 예시 실시예에 따른 반응기 챔버의 단면도이고, 여기에서 플라즈마 형상은 AC 전류가 PGU의 긴 치수에 평행한 유도된 전기장을 발생시키는 가스 유동의 방향으로 그리고 코일의 권선에서 전류 유동의 방향으로 가변 자기장을 발생시키는 전도체의 다중 권선을 사용하여 유도 결합에 의해 수행된다.

도18은 예시 실시예에 따른 유도 분할기를 사용한 단일 전원에 의한 이중 전극에 RF 또는 VHF 전력의 분배를 도시하는 라이너를 갖는 전극의 전기 회로 모델을 도시하고 있다.

도19는 중간에 리세스를 갖는 전극을 도시하고 있고, 여기에서 가스 분배는 리세스 그리고 예시 실시예에 따른 전극의 다른 기관-대면 표면의 양쪽 모두로부터 수행된다.

도20은 예시 실시예에 따른 다중 전극 구성을 도시하고 있고, 여기에서 가스가 전극의 저부에서 단지 기관을 향해 주입되고, 각각은 다중-세그먼트 가스 주입 매니폴드(manifold)를 갖는다.

도21a는 예시 실시예에 따른 시스템을 도시하고 있고, 여기에서 가스가 주입되고, 고밀도 플라즈마가 전극들 사이에서 그리고 또한 전극들과 기관 사이에서 형성된다.

도21b는 예시 실시예에 따른 시스템을 도시하고 있고, 여기에서 전극들 사이의 간극은 유전성 슬랩에 의해 부분적으로 충전된다.

도22는 다중 PGU 그리고 예시 실시예에 따른 처리 플라즈마로부터 배기물을 펌핑하는 데 사용되는 매니폴드의 단면도이다.

도23은 예시 실시예에 따른 예시의 시스템 및 방법을 사용하여 제조될 수 있는 예시의 다층 구조를 도시하고 있다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0007] 본 발명은 다양한 변형 및 대체 구성에 제한되지 않지만, 도면에 도시된 실시예가 여기에서 상세하게 설명될 것이다. 그러나, 개시된 특정한 형태로 본 발명을 제한할 의도는 없다는 것이 이해되어야 한다. 반면에, 본 발명은 첨부된 특허청구범위에서 한정된 것과 같은 모든 변형, 등가 및 대체 구성을 포함하도록 의도된다.

[0008] 예시 실시예는 각각 플라즈마 처리를 위한 플라즈마를 발생 또는 유지시킬 수 있거나 플라즈마 처리를 위한 플라즈마의 발생 또는 유지에 기여할 수 있는 플라즈마 발생 유닛(PGU: plasma generating unit)을 포함한다. 예시 실시예에서, PGU는 전류를 위한 복귀 경로를 수용 및/또는 제공하는 것을 돕고 및/또는 플라즈마의 가스 유동을 안내 또는 제어하도록 플라즈마를 발생 또는 유지시키는(또는 플라즈마를 발생 또는 유지시키는 데 기여하는) 전력을 제공하는 1개 이상의 요소를 포함할 수 있다.

[0009] 이와 같이, 각각의 PGU는 그 PGU의 요소에 인접하고 또한 다른 플라즈마 영역 또는 더 큰 플라즈마 영역의 일부에 인접한 영역 내에서 플라즈마를 발생시킬 수 있다. 어느 경우이나, 이러한 영역 내의 플라즈마는 예시 실시예에서 이러한 PGU의 일부 요소에 제공되는 전력으로써 실질적으로 제어 가능할 수 있다. 일부 실시예에서, 요소는 주로 변위 전류-용량 결합을 통해 플라즈마 내로 전력을 결합시키는 (RF 또는 심지어 VHF 주파수 등의) 더 낮은 주파수에서의 전극일 수 있다. 다른 실시예에서, PGU로부터 플라즈마 내로의 전력의 결합은 원칙적으로 유도성이고, PGU의 일부 요소는 코일의 1회 이상의 권선부를 포함한다. 다른 실시예는 그 성질 면에서 전자기파인 표면파로서의 플라즈마 내로의 전력의 결합으로써 UHF 또는 극초단파 밴드 내의 전력을 사용할 수 있다. 이들 예시 실시예 중 임의의 실시예에서, 이러한 영역 내에서의 처리는 실질적으로 PGU를 거쳐 도입되는 AC 전력에 의해 발생된 플라즈마의 생성물일 수 있다. 다른 실시예는 용량식으로, 유도식으로 또는 표면파에 의해 전력을 결합시키는 PGU의 조합을 사용할 수 있다. 이들은 단지 예이고, 다른 실시예는 다른 PGU 또는 PGU의 조합을 사용할 수 있다.

[0010] PGU의 요소는 예컨대 1개 이상의 전력 공급 전극, 접지 전극, 중성 전극 및/또는 부유 전극, 가스 유동을 안내 또는 제어하고 및/또는 전력을 수용하는 것을 돕는 1개 이상의 분할기, 및/또는 전극 또는 다른 챔버 표면을 보호하는(그리고 또한 가스 유동을 안내 또는 제어하는 것을 도울 수 있는) 1개 이상의 라이너(liner)를 포함할 수 있다. 이들 및/또는 다른 요소는 아래에서 추가로 설명되는 것과 같이 처리를 위한 요구된 플라즈마 성질을 제공하도록 단독으로 또는 조합하여 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 처리는 기관이 1개 이상의 PGU 아래로 이동됨에 따라 일어난다. 다른 실시예에서, 기관은 PGU 또는 PGU의 어레이 또는 다른 조합 아래에서 정지된다. 또 다른 실시예에서, 기관은 단일의 PGU 또는 PGU의 어레이 또는 다른 조합이 이동 중인 동안에 정지될 수 있다.

[0011] 도1에는 1개 이상의 플라즈마 발생 유닛(PGU)을 포함할 수 있는 예시 실시예에 따른 처리 챔버(100)가 도시되어 있다. 도1은 서로에 근접하게 이격되는 3개의 PGU(101, 102, 103)를 갖는 챔버의 예시 실시예를 도시하고 있다. PGU는 동일한 형태로 되어 있을 수 있거나, 상이한 구성의 전극(들), 분할기(들) 및/또는 다른 요소를 가질 수 있다. 도1에 도시된 것과 같이, 다중 PGU는 이러한 실시예에서 근접하게 이격되고, 그에 의해 플라즈마가 인접한 PGU의 요소들 사이에서 또는 각각의 개별 PGU 내의 요소들 사이에서 발생될 수 있다. 일부 예시 실시예에서, 인접한 PGU들 사이의 간극은 각각의 PGU의 폭보다 작을 수 있다. 일부 실시예에서, 인접한 PGU 사이의 간극은 전력 공급 전극과 처리되는 기관 사이의 간극의 약 2배보다 작을 수 있다. 이러한 예시 실시예에서, AC 전류가 PGU 사이에서 그리고 또한 각각의 PGU 사이에서 흐를 수 있다. 이러한 실시예에서, 각각의 PGU는 적어도 1개의 전극을 갖고, 이들 전극 중 하나에는 전력이 공급되고, 이들 전극 중 하나는 접지되거나 전력이 공급되지 않는 분할기 또는 다중 분할기를 갖거나 갖지 않을 수 있다. 각각의 PGU의 예시 실시예는 적어도 1개의 전력 공급 전극을 가질 수 있고, 복수개의 전력 공급 전극을 가질 수 있다. 예시 실시예는 1개 이상의

접지 전극을 또한 가질 수 있다. 불활성 가스는 처리 가스가 챔버로부터 배출되는 것을 방지하고 인접한 챔버로부터 처리 영역 내로의 가스의 진입을 방지하도록 입구(104)를 통해 PGU 조립체의 양쪽 측면 상의 분배 매니폴드(118, 119)로 공급될 수 있다. 예시 실시예에서, 챔버의 진입부 및 배출부에서의 이러한 가스 세정은 또한 챔버 내에서의 처리의 오염을 피하도록 바람직하지 못한 가스가 챔버 내로 진입될 때에 기관으로부터 바람직하지 못한 가스를 제거하는 것을 도울 수 있다. AC 전력이 PGU(101, 102, 103)으로 각각 제너레이터(generator)(105, 106, 107)에 의해 제공된다. 가스 공급 입구(108, 110, 112) 및 배기 포트(109, 111, 113)가 각각 PGU(101, 102, 103)에 제공된다. 이러한 예시 실시예에서, 기관은 처리를 위해 PGU 아래에서 측면 방향으로 이동된다. 이러한 실시예에서의 처리 챔버에 대한 기관 운동은 화살표(114)에 의해 표시되어 있다. 컨베이어(conveyor), 웹(web) 또는 다른 이동 가능한 운반부 또는 캐리어(carrier)가 PGU 아래에서 기관을 이동시키는 데 사용될 수 있다. 기관 지지 및 중성 전극(115)이 임피던스 요소(impedance element)(120)를 통해 접지부에 연결될 수 있고, 이러한 임피던스 요소(120)는 플라즈마 상태를 감지하여 처리 안정성 및 정확성을 보증하는 데 사용될 수 있는 리액턴스 및 저항 성분 요소(reactive and resistive element) 그리고 또한 전력 다이오드 또는 베리스터(varistor) 등의 고체 상태 전자 소자를 포함할 수 있다. 가열 요소(121)가 받침대(115) 내로 (또는 그 근처에) 탑재될 수 있다. 이러한 요소는 (도시된 것과 같은) 받침대 내에서 저항시킬 수 있거나 받침대 아래에서 복사시킬 수 있다. 배기 포트(116, 117)가 세정 매니폴드(118, 119)에 의해 기관 영역으로 전달되는 세정 가스를 외부로 펌핑하도록 제공된다. 일부 실시예에서, 다중 PGU와 관련하여, PGU는 근접하게 배열되고, 이 때에 이웃 PGU의 인접한 요소들 사이의 간극은 기관과 이들 PGU 중 한쪽 또는 양쪽 모두의 전력 공급 전극(들) 사이의 간극의 2배보다 작다.

[0012] 예시 실시예에서, PGU는 이웃 PGU의 인접한 요소의 긴 측면이 대략 평행하고 기관 운동의 방향을 따라 좁게 이격되도록 배열될 수 있다.

[0013] 도2에는 도1에서의 이전에 설명된 실시예에 비해 더 넓게 이격되거나 격리될 수 있는 다중 PGU를 갖는 처리 챔버의 또 다른 실시예가 도시되어 있다. 이러한 경우에, 각각의 PGU는 적어도 2개의 전극을 가질 수 있고, (접지되거나 전력이 공급되지 않을 수 있는) 분할기 또는 다중 분할기를 갖거나 갖지 않을 수 있다. 일부 실시예에서 처리 챔버 내에 단지 1개의 PGU가 있을 수 있다. 3개의 PGU를 갖는 챔버(200)가 도시되어 있다. 이러한 경우에, 매우 적은 AC 전류가 임의의 PGU 내에서의 AC 전류에 추가하여 상이한 PGU들 사이에서 흐를 수 있다. PGU(201, 202, 203)는 동일한 형태의 전극(들) 또는 분할기(들)로 되어 있을 수 있거나 상이한 구성의 전극(들) 또는 분할기(들)를 가질 수 있다. 도시된 것과 같이, 다중 PGU는 근접하게 이격되지 않고, 이 때에 간극은 플라즈마가 인접한 PGU의 요소들 사이에서 거의 또는 전혀 발생되지 않도록 PGU 폭보다 작을 수 있다.

[0014] 불활성 가스(204)가 또한 처리 가스가 챔버로부터 배출되는 것을 방지하도록 PGU 조립체의 양쪽 측면 상의 분배 매니폴드(221, 222)로 공급될 수 있다. 일부 실시예에서, AC 전력이 PGU(201)로 제너레이터(205, 206)에 의해, PGU(202)로 제너레이터(207, 208)에 의해 그리고 PGU(203)로 제너레이터(209, 210)에 의해 제공된다. 다른 실시예에서, 단일 제너레이터가 또한 PGU들 중 1개 이상 내의 모든 전력 공급 전극에 전력을 공급하는 데 충분할 수 있다. 가스 공급부(211, 213, 215) 및 배기부(212, 214, 216)가 각각 PGU(201, 202, 203)에 제공된다. 처리 챔버에 대한 기관 운동(217)이 도시되어 있다. 기관 지지 및 중성 전극(218)은 임피던스 요소(223)를 통해 접지부에 연결될 수 있고, 이러한 임피던스 요소는 플라즈마 상태를 감지하여 처리 안정성 및 정확성을 보증하는 데 사용될 수 있는 리액턴스 및 저항 성분 요소 그리고 또한 전력 다이오드 또는 베리스터 등의 고체 상태 전자 소자를 포함할 수 있다. 가열 요소(224)가 (도시된 것과 같이) 받침대 내로부터 받침대(218)로 열을 전도하거나 받침대 아래로부터 그리고 그 근처로부터 받침대 및 기관으로 열을 방출한다. 배기 포트(219, 220)가 세정 매니폴드(221, 222)에 의해 기관 영역으로 전달되는 세정 가스를 외부로 펌핑하도록 제공된다.

[0015] 도3에 도시된 PGU 내의 예시 요소는 대체로 비례 관계를 갖고, 균일하게 기관을 처리하도록 성형된다. PGU 내의 전극(301) 또는 분할기(302)의 길이는 도3에 도시된 것과 같이 이러한 길이에 평행한 기관(303)의 치수보다 길 수 있다. 전극 또는 분할기 길이는 또한 기관에 직각인 방향으로의 그 높이(311, 312) 또는 기관 표면에 평행하고 전극 길이 치수에 직각인 방향으로의 그 폭(321, 322)보다 훨씬 클 수 있다. 일부 실시예에서, 도3에 개략적으로 도시된 것과 같이, 양쪽 모두의 전력 공급 전극 및 분할기의 단면 형상은 이러한 길이 치수를 따라 대략 일정할 수 있다.

[0016] 일부 실시예에서, AC 전력 공급 전극의 단면 형상은 일반적으로 도3, 도4a-1, 도5, 도6, 도7, 도8, 도9 및 도10에 도시된 것과 같이 라운딩 처리된 코너를 갖는 직사각형 단면을 가질 수 있다.

[0017] 본 발명의 실시예는 요구된 처리 특성을 성취하도록 다양한 구성 및 조합으로 PGU를 사용할 수 있다. 예시 실

시에에서, PGU는 큰 기관 또는 더 작은 기관을 보유하는 캐리어, 또는 연속 밴드 기관을 처리하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 긴 PGU 또는 일렬 또는 임의의 어레이의 긴 PGU가 PV 패널 또는 다른 적용 분야를 위한 큰 면적 기관을 처리하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 선형 플라즈마 발생원 또는 플라즈마 발생 유닛(PGU)이 다양한 처리과 관련하여 효과적으로 동작되도록 구성될 수 있고, 그에 의해 원하지 않는 가스 상 반응을 방지하도록 짧고 균일한 가스와 조합하여 요구된 기관 반응을 위한 효율적인 가스 이동을 제공한다. 일부 실시예에서, 다중 PGU는 전체 시스템의 처리량을 향상시키는 데 그리고 또한 적용 분야의 요건을 충족시키도록 특정한 처리 단계에 대해 유연성이 각각의 유닛을 조정하게 하는 데 사용될 수 있다.

[0018] 예시 실시예에서, 1개 이상의 PGU가 처리될 기관의 표면 근처에 위치될 수 있고, 각각의 PGU는 그 표면을 처리하도록 기관에 인접하게 소정 체적으로 플라즈마 및 반응성 화학종을 발생시키는 1개 이상의 가스 배출부(들)를 지지한다. 다중 PGU가 사용되면, 일부 또는 모두가 동일한 구성으로 되어 있을 수 있고, 다양한 종류의 혼합물에서 상이한 구성들 중 일부와 조합하여 그루핑될 수 있다. PGU는 일부 실시예에서 특히 이러한 PGU가 단독으로 사용될 수 있거나 서로로부터 실질적으로 이격되는 경우에 접지 또는 전력 공급 중 어느 한쪽인 2개 이상의 전극을 요소로서 포함할 수 있다. 예시 실시예에서, 각각의 PGU 내의 전극들 중 적어도 하나에는 전력이 공급되고, 특히 RF 또는 VHF 전류가 제공될 수 있다. 다중의 근접하게-그루핑된 PGU일 수 있는 일부 실시예에서, 각각은 요소(들)로서 1개 이상의 전극(들)을 가질 수 있고, 이들 전극 중 적어도 하나에는 RF 또는 VHF 전류가 제공된다. 격리 및 그루핑 구성의 양쪽 모두에서, PGU는 접지 또는 전력 공급되지 않지만 전기적으로 유도될 수 있는 1개 이상의 분할기(들)를 요소로서 갖거나 갖지 않을 수 있다. 일부 실시예에서, PGU는 일반적으로 그 전력 공급 전극과 기관 사이에 그리고 또한 PGU 내의 요소들 사이에 또는 PGU의 요소와 인접한 PGU의 요소 사이에 플라즈마를 발생시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 기관 또는 캐리어의 대향 측면은 RF 또는 VHF 주파수에서 접지될 수 있거나 접지부에 대해 작은 임피던스를 가질 수 있는 중성 전극 상에서 또는 그 바로 근처에서 지지될 수 있다. 일부 실시예에서, 기관이 가스에 노출되기 전에 또는 그 후에 가스의 활성화 및 이온화를 제공할 수 있는 인접한 요소들 사이에 플라즈마가 형성될 수 있다.

[0019] 예시 실시예에서, 플라즈마(들)는 기관(들)의 표면 위의 1개 이상의 긴 영역(들) 내에서 처리가 일어나게 할 수 있다. 일부 실시예에서, PGU에 의해 형성되는 처리 영역들의 각각은 기관의 직경 또는 폭보다 하나의 치수 면에서 크거나, 캐리어의 큰 치수(예컨대, 캐리어의 외부 폭)에 대해 크기 면에서 유사하다. 예시 실시예에서, 기관 표면 위에서 PGU에 의해 형성되는 처리 영역은 길 수 있고, 각각의 이러한 영역의 길이는 그 폭보다 훨씬 클 수 있다. 예컨대, PGU와 기관의 표면 사이의 각각의 처리 영역의 길이는 예시 실시예에서의 처리 영역의 폭의 2배 내지 100배 사이에 있거나 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있다. 일부 실시예에서 챔버 내에 다중 PGU가 있으면, PGU는 나란히 근접하게 이격된 상태로 배열될 수 있고 그에 따라 그 요소는 정렬된 긴 수치를 갖고, 서로에 대략 평행하고, 이 때에 간극은 PGU 내의 요소들 사이 또는 전극과 기관 사이의 그 간극과 크기 면에서 유사하거나, 그 요소는 서로로부터 이격될 수 있거나 (일부 실시예에서, 불활성 가스로써 세정될 수 있는) 스페이서(spacer) 또는 분할기에 의해 다른 것에 의해 서로로부터 분리될 수 있다.

[0020] 일부 실시예에서, PGU는 이들 사이의 차폐부에 대한 필요성 없이 서로에 밀접하게 위치될 수 있다. 이러한 구성은 상이한 처리 단계를 수행할 수 있는 서로에 인접한 다중 유닛을 취급하는 안정된 수단을 제공하는 데 사용될 수 있다. 특정한 적용 분야에 필요하면, 각각의 PGU에 의해 수행되는 특정한 처리는 PGU 내에서의 상이한 전극 및 분할기 구성, 가스 혼합물을 변화시키는 개별 가스 유동 제어, 별개의 전원 연결, 상이한 라이너 구성, 전극 폭 및 높이, 전극 간극 거리, 처리 가스 주입 지점 위의 사전-활성화 영역의 길이 및/또는 처리 영역의 크기 등의 특징부를 포함함으로써 독립적으로 조정될 수 있다.

[0021] 예시 실시예에서, PGU 내의 요소는 대체로 비례 관계를 가질 수 있고, 균일하게 기관을 처리하도록 성형된다. PGU 내의 전극 또는 분할기의 길이는 이러한 길이를 따라 정렬된 기관의 치수보다 길 수 있고, 길이는 그 높이 즉 기관에 직각인 방향으로의 크기, 그 폭 또는 양쪽 모두보다 훨씬 클 수 있다. 전극 또는 분할기의 폭 치수는 기관 표면에 평행하고 그 긴 치수에 직각인 그 크기로서 정의된다. 일부 실시예에서, 전극의 길이는 전극의 높이 또는 폭, 또는 양쪽 모두의 2배, 10배, 20배, 50배, 100배 또는 그 이상일 수 있다. 전극, 분할기 또는 PGU 내의 다른 요소의 예시 길이는 약 30 내지 약 400 cm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 있을 수 있다. 전극, 분할기 또는 PGU 내의 다른 요소의 예시 높이는 약 1 내지 약 30 cm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 있을 수 있다. 전력이 공급되는 전극, 분할기 또는 PGU 내의 다른 요소의 예시 폭은 약 1 내지 약 30 cm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 있을 수 있다. 전력 공급 전극의 길이에 대한 높이 또는 폭의 비율은 일부 실시예에서 약 0.25 미만일 수 있다. 접지 전극 또는 분할기의 높이는 예시 실시예에서의 전력 공급 전극과 동일한 범위 내에 있을 수 있다. 그러나, 접지 전극 또는 분할기의 최소 폭은 전력 공급 전극보다 작을 수 있

고, 일부 실시예에서 약 1 mm 정도로 작을 수 있다. 접지 전극 및 분할기의 폭에 대한 예시 범위는 약 1 내지 약 100 mm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 있을 수 있고, 이 때에 약 2 내지 약 10 mm의 범위 내의 폭이 일부 예시 실시예에서 사용된다.

[0022] 기관이 처리 중에 PGU에 대해 이동되는 실시예에서, 기관은 대략 요소의 폭 치수의 방향으로 그리고 대략 요소의 길이 치수에 직각으로 이동될 수 있다. 예시의 전극은 적어도 부분적으로 금속 등의 전기 전도성 재료로 제조될 수 있지만, 전극은 불량한 전도성을 갖는 부분을 또한 가질 수 있다. 그 길이 치수에 직각인 전극 단면 형상은 일부 실시예에서 대체로 직사각형이지만, 이러한 형상 면에서의 변화는 일부 적용 분야에 적절할 수 있다. 전극은 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 전류 또는 에너지의 공급원에 연결될 수 있거나, 임피던스가 과도하게 크지 않은 리액턴스 또는 저항 성분 회로 구성 요소를 통해 접지부에 연결될 수 있다. 분할기는 일부 실시예에서 그 길이 치수를 따라 전극에 대략 평행하고, 절연성 또는 전도성 재료, 또는 양쪽 모두로 되어 있을 수 있다. 모두 또는 부분적으로 금속으로 제조되면, 분할기의 그 부분은 전기적으로 유동될 수 있고, 접지되거나 전원에 연결되지 않을 수 있다. 일반적으로, 분할기는 가스 유동을 위한 도관으로서 역할을 할 수 있고, 또한 플라즈마가 유지되는 영역을 위한 경계부로서 역할을 할 수 있다. 일부 예에서, 전극 및 분할기는 유전체 그리고 아마도 금속을 포함할 수 있는 기관으로 멀어지게 대면하는 그 측면 상에서 또는 길이의 방향으로의 그 단부에서 중 어느 한쪽에서 지지 구조물에 의해 지지될 수 있다.

[0023] 예시 실시예에서, PGU의 요소는 처리될 기관 표면으로부터 그리고 서로로부터 근접하게 이격될 수 있다. PGU 내의 전극은 또 다른 전극 또는 분할기와 동일 또는 상이한 폭을 가질 수 있고, 기관으로부터의 그 최소 거리는 그 폭 또는 그 높이 중 어느 한쪽 또는 양쪽 모두보다 작을 수 있거나 대략 동일할 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 거리는 폭 또는 높이 중 어느 한쪽보다 훨씬 작을 수 있다. 기관에 대한 이러한 거리는 전극 및 분할기의 길이의 모두 또는 대부분을 따라 대략 일정할 수 있다. 그러나, 일부 실시예에서, 이러한 거리는 단부에서의 처리 변화가 PGU의 길이의 더 큰 분율에 걸쳐 감소된 변화 그리고 수용 가능한 균일성을 갖도록 플라즈마 내에서의 다른 단부-효과에 대응하게 특히 전극의 단부 근처에서 변화될 수 있다. 사용된다면 전극 및 분할기의 양쪽 모두를 포함하는 PGU 내의 요소는 그 길이의 상당한 부분을 따라 인접한 요소(들)에 근접하게 이격될 수 있다. 일부 실시예에서, 일부 대면 표면은 길이 치수에 직각인 평면에서 약간 경사질 수 있고, 이러한 길이의 대부분을 따라 실질적으로 평행할 수 있다.

[0024] 예시 실시예에서, 기관은 직접적으로 중성 전극 상에서 또는 그 상에서 지지되는 캐리어 상에서 중 어느 한쪽 상에서 지지된다. 기관은 개재 스페이서(전도성 또는 절연성) 상의 지지부 상에 직접적으로 위치될 수 있거나, 가스 쿠션의 차압에 의해 현수될 수 있다. 예시 실시예에서, 정지 PGU 및 이동 기관과 관련된 구성이 사용될 때에, 기관 운동을 성취하는 부분은 중성 전극을 완전히 또는 부분적으로 형성하는 것, 또는 기관과 중성 전극 사이의 비-전도성 분리부로서 작용하는 것 중 어느 한쪽을 수행할 수 있다. 일부 실시예에서, 중성 전극은 전력 공급 전극을 포함하는 다중 PGU를 위한 공통 중성 전극이 있을 수 있도록 전력 공급 전극보다 기관 운동의 방향을 따라 대체로 클 수 있다.

[0025] 일부 실시예에서의 기관 처리 중에, 가스가 주입되어 요소 내에서 또는 2개의 요소 사이에서 기관을 향해 유동되고, 이러한 요소는 전극(들), 분할기(들) 또는 양쪽 모두를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 요소 또는 요소들은 전력 공급 전극 및 인접한 요소 또는 2개의 분할기일 수 있다. 일부 실시예에서, 플라즈마가 그 다음에 기관 표면에 평행하게 유동되도록 방향 전환되고, 결국 전력 공급 전극과 기관 사이에서 유동되고, 그 다음에 전극과 이웃 요소 사이에서 그 다음에 처리 챔버로부터 배기 포트에 유동되도록 방향 전환된다. 가스 벌크 유동 방향으로의 이러한 방향 전환은 일부 실시예에서 약 90° 만큼일 수 있다. 가스 유동 방향으로의 이러한 방향 전환은 일부 실시예에서 가스의 재순환 유동 패턴을 유발하지 않으면서 일어난다.

[0026] 일부 실시예에서, 전극은 특히 기관과 대면하는 그 측면과 경계를 형성하는 모서리들 중 1개 이상 중에서 라운딩 처리 또는 경사 처리된 일부 모서리를 가질 수 있고, 그에 의해 가스 유동의 방향 전환이 그 모서리로부터 하류의 체적 내에서 재순환 유동을 유발하지 않으면서 일어난다. 나아가, 가스가 유동되는 라운딩 처리 또는 경사 처리된 모서리(들) 그리고 대면 표면을 갖는 이러한 요소들 사이의 간극이 재순환 유동이 피해질 정도로 작은 것은 재순환 유동을 피하는 데 또한 도움이 된다. 일부 실시예에서, 이러한 간극은 방향 전환되는 채널의 폭의 약 3배 미만이어야 한다. 가스의 유동 패턴의 이러한 신중한 제어는 박막 실리콘 광전지 패널을 위한 나노결정 실리콘의 증착 등의 일부 적용 분야에서 최적의 처리 성능에 중요할 수 있다. 예리한 모서리의 이러한 라운딩 처리 또는 경사 처리는 또한 전도성 또는 유전성 피막 증착 중 어느 한쪽에 유리할 수 있다. 예시 실시예에서, 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극은 약 5 내지 15 mm의 범위 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 있을 수 있다. 이것 그리고 예시 압력 및 가스 유동 범위를 기초로 하여, 재순환 유동을 피하는 데 적절한 모

서리의 라운딩 처리는 예시 실시예에서 약 1 내지 10 mm의 범위 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 있을 수 있다.

[0027] 가스가 일부 실시예에서 전력 공급 전극(들)과 기관 사이의 공간 내에서 이온화될 수 있지만, 플라즈마는 또한 일부 실시예에서 전력 공급 전극과 인접한 요소 사이 또는 근접한 요소들 사이의 공간 내에서 형성될 수 있고, 여기에서 가스는 기관을 향해 또는 그로부터 멀어지게 중 어느 한쪽의 방식으로 유동될 수 있다. 일부 실시예에서, 가스는 기관을 향한 그 초기 유동 중에 플라즈마에 의해 활성화될 수 있다. 이러한 가스는 원자 또는 분자 화학종 중 어느 한쪽을 포함할 수 있는 처리에서 화학적으로 참여하는 불활성 가스 및/또는 가스/가스들을 포함할 수 있다. 이러한 가스가 PGU의 요소들 사이의 통과 중에 활성화되면, 이것은 기관 트리트먼트를 위한 반응성 화학종을 제공하는 급송 가스의 파괴 또는 해리를 용이하게 한다. 일부 실시예에서, 주입된 가스는 전력 공급 전극에 인접한 공간 내에서, 또는 분할기와 전극 사이 또는 2개의 분할기 또는 2개의 전극 사이의 공간 내에서 기관을 향해 유동될 수 있다. 활성화와 무관하게, 이러한 가스는 일부 실시예에서 이웃 PGU와 관련된 인접한 처리 영역들 사이의 화학적 격리를 제공한다. 헬륨이 다른 가스에 실질적인 화학적 영향을 미치지 않으면서 격리를 제공하는 데 사용될 수 있는 하나의 이러한 가스이다. 기관을 향해 주입된 가스가 헬륨보다 전자 충돌에 의해 용이하게 활성화될 수 있는 일부 실시예에서, 이러한 가스가 그 다음에 전극과 기관 사이의 공간 내에서 유동될 때에, 이것은 또한 다양한 화학종을 생성하는 플라즈마 반응에 참여할 것이고, 이들 화학종 중 일부는 처리에 필요할 수 있다.

[0028] 예시 실시예에서 최적화된 처리 조건을 위해, 전력 공급 전극(들)과 기관 사이의 플라즈마는 특정 적용 분야에 따라 전극과 인접한 요소 사이의 영역과 상이한 전력 밀도, 전자 밀도 및 전자 평균 에너지를 가질 수 있다. 이러한 인접한 플라즈마 영역 내에서 전력 밀도를 독립적으로 그리고 제어 가능하게 변화시킬 수 있는 이러한 능력은 전극 구조 그리고 또한 전력 공급 전극(들)과 기관 사이의 간극 대 전극과 인접한 요소 사이의 간극의 상대 크기의 면밀한 제어의 결과이다. PGU 내의 각각의 전극으로 공급되는 시간-변화 전위들 사이의 위상이 또한 전력 공급 전극들 사이의 간극 내에서의 상대 전력 밀도 대 전력 공급 전극과 기관 사이의 처리 영역 내에서의 전력 밀도를 조정하도록 변화될 수 있다. 일부 실시예에서, 간극들의 이러한 비율은 다양한 적용 분야에 대해 약 50%까지 변화될 수 있다. 일부 실시예에서, 전극과 기관 사이의 플라즈마는 전극으로부터 더 높은 전력 밀도를 수용할 것이고, 전극과 인접한 요소 사이의 플라즈마보다 높은 전자 밀도 및 평균 에너지를 가질 것이다. 이것은 기관에 바로 인접한 반응성 작용기의 발생 또는 기관의 이온 충돌 중 어느 한쪽이 그 처리 적용 분야를 위한 반응을 제한 또는 제어할 때에 특히 적절할 것이다. 반면에, 매우 낮은 수소 함량을 갖는 실리콘 질화물의 증착 등의 처리의 일부 실시예에서, N₂ 가스의 사전-해리에 의한 질소 원자의 형성은 상당한 에너지를 요구하고, 전력 공급 전극과 인접한 요소 사이의 플라즈마가 전극과 기관 사이의 전력 밀도보다 높은 전력 밀도를 갖는 구성으로부터 이익을 얻는다.

[0029] 반응성 이온 식각 등의 1차 기구로서 이온 충돌을 요구하는 처리에 대해, 일반적으로 W/cm²/kPa의 단위로 표현되는 플라즈마에 대한 전력 밀도(D_p)는 나노결정 실리콘의 증착 등의 중성 화학종이 단지 요구되는 처리보다 높을 것이다. 전형적으로, 이온-기반 처리(ion-based process)는 대략 약 3 내지 100 W/cm²/kPa 또는 그 내에 속하는 임의의 범위인 전력 밀도의 범위를 갖는 것을 특징으로 하고, 반면에 중성-기반 처리는 약 0.1 내지 약 10 W/cm²/kPa 사이의 D_p 또는 그 내에 속하는 임의의 범위를 가질 수 있다.

[0030] 이러한 전력 밀도는 결합 수준이 증착된 실리콘에서 예컨대 높은 광전지 효율을 허용하는 수준 이하일 수 있도록 증착된 피막에 대한 이온 손상을 피하게 플라즈마 증착 처리에 사용될 수 있다. 나노결정 실리콘의 경우에, 결합 수준은 10¹⁶/cm²의 약 수배 미만일 수 있다. 높고 안정화된 광전지 효율을 성취하기 위해, 약 13% 위에서, 약 2x10¹⁶/cm² 미만으로 이러한 결합 수준을 제한하는 것이 바람직할 수 있다.

[0031] 분할기 및 전극의 형상 및 위치는 일부 실시예에서 불활성 가스가 이들 PGU를 통해 또는 이들 PGU 사이에 주입될 때에 인접한 PGU들 사이의 화학적 격리를 크게 개선하도록 선택될 수 있다. 일부 실시예에서, 분할기와 기관 사이의 간극은 이러한 격리를 개선하도록 잠재적으로 0.05 mm 또는 심지어 그 미만 정도로 매우 작을 수 있다. 일부 실시예에서, 기관으로부터의 접지 전극의 분리는 매우 작을 수 있다. 일부 실시예에서, 헬륨 또는 아르곤 등의 불활성 가스의 상당한 유동이 접지 전극 또는 분할기 그 자체와 기관 사이의 매우 좁은 간극 내로 접지 전극 또는 분할기를 통해 주입된다. 이러한 경우에, 가스는 이러한 통과에 의해 사전-활성화되지 않을 수 있다. 이러한 가스는 또한 상이한 처리 단계가 수행될 수 있는 인접한 PGU 내로의 하나의 PGU로부터의 처리 가스 또는 가스들의 확산을 최소화하도록 2개의 분할기, 접지 전극 및 분할기 또는 전력 공급 전극 및 분할기 등

의 2개의 근접하게 이격된 요소들 사이에 주입될 수 있다. 이것은 처리-유발 화학종이 동일한 방향으로 일관되게 하는 데 사용될 수 있고, 이것은 기관이 PGU에 대해 이동되는 경우에 중요할 수 있다. 이러한 경우에, 다중 PGU가 있는 지와 무관하게, 반응성 화학종 유동의 방향은 기관 상대 운동의 방향과 반대인 방향을 따라 또는 그 방향으로 중 어느 한쪽으로 수행되도록 선택될 수 있다.

[0032]

분할기 또는 접지 전극과 기관 사이에 매우 작은 간극이 있고 불활성 가스가 분할기를 통해 주입되는 일부 실시예에서, 이것은 일종의 "가스 베어링"으로서 작용할 수 있다. 가스의 충분한 유동의 사용 그리고 분할기(들) 그리고 아마도 전극 라이너의 성형은 기관이 정지 또는 이동되는 지와 무관하게 그러나 특히 기관이 이동될 때에 이러한 요소와의 기관의 접촉을 방지하는 것을 도울 수 있고, 전극에 대한 기관의 위치를 더 정확하게 유지하는 것을 도울 수 있다. 이것은 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극 면에서의 변동으로 인해 처리를 제어하고 시간에 따른 변동이 작아지게 하는 데 중요할 수 있다. 분할기를 통한 또는 분할기들 사이에서의 가스의 주입 그리고 또한 주입 위치에 인접한 상이한 분할기를 통한 또는 상이한 쌍의 분할기 사이에서의 펌핑의 양쪽 모두가 있다는 것은 일부 실시예에서 더욱 유용하고, 그에 의해 분할기와 기관 사이에서 거의 일정한 간극을 유지하는 진정한 가스 베어링일 수 있다. 이것은 전력 공급 전극과 기관 사이의 일정한 간극을 유지하고 그에 따라 이러한 간극에 의존할 수 있는 처리 속도를 제어하고 및/또는 시간에 따라 일정하게 하는 것을 도울 수 있다. 이러한 경우에, 전극과 기관 사이의 전력 밀도에 대한 전극들 또는 전극과 분할기 사이의 플라즈마 내에서의 전력 밀도의 비율은 더 일정하게 유지되고, 처리 결과에서 더 양호한 일관성을 제공할 수 있다.

[0033]

일반적으로, 가스가 일련의 채널을 통해 유동됨에 따라, 가스는 팽창을 경험할 수 있고, 그 벌크 유동 속도는 가스가 유동되는 채널의 단면적이 증가되면 감소될 것이다. 팽창된 채널 또는 영역 내로의 이러한 유동은 가스 냉각을 유발할 수 있다. 예시 실시예에서, 유동 채널은 전극 또는 분할기의 길이와 동일한 폭 그리고 경계를 형성하는 전극, 기관 또는 분할기 표면 사이의 거리와 동일한 높이를 갖는 영역을 가질 수 있다. 팽창 채널의 경우와 반대로, 가스는 그 유동 채널의 단면적이 감소되면 가속되고 약간의 압축을 경험하는 경향이 있을 것이다. 채널의 벽이 뜨거워지거나 가스가 플라즈마에 의해 가열되면, 유동 속도는 증가되는 경향이 있을 것이고, 반면에 냉각 벽은 감속을 유발할 것이다. 예시 실시예에서, 가스가 하나의 플라즈마 영역으로부터 또 다른 플라즈마 영역으로 이동됨에 따라 가스 온도 및/또는 벌크 유동 속도가 변화되도록 가스의 유동 경로를 따른 채널의 단면적 면에서 그리고 플라즈마 전력 밀도 및/또는 벽 온도 면에서 변화가 있을 수 있다. 구체적으로, 가스의 온도는 이러한 영역 내의 플라즈마 내에서의 더 낮은 전력 밀도로 인해 가스가 전력 공급 전극과 기관 사이의 영역으로부터 도중의 요소들 사이의 영역 내로 배기부까지 유동됨에 따라 약간 감소될 수 있다. 그러나, 예시 실시예에서, 가스 온도 면에서의 임의의 이러한 감소는 이러한 영역 내에서의 입자 성장이 최소이고 처리의 결과에 악영향을 미치지 않도록 작을 수 있다. 예시 실시예에서, 유동 채널의 이러한 "유효" 단면적은 약 3 초과의 인자만큼 변화되지 않고, 플라즈마 내에서의 전력 밀도는 하나의 영역으로부터 다음의 영역으로 큰 인자(예컨대, 10배 초과)만큼 감소되지 않고, 그에 의해 가스 스트림의 급격한 냉각이 피해진다. 일부 처리에서, 급격한 냉각은 가스 상 내에서의 입자의 급속한 성장을 발생시킬 것이고, 이것은 기관 상에서의 오염 그리고 불량한 처리 성능을 유발할 것이다. 일부 경우에, 특정한 유동 경로를 위한 "유효" 유동 채널 단면적은 가스 단일 채널로부터 2개의 별개 채널로 유동될 때에 전체 채널 면적보다 작을 수 있다. 역으로, 유동이 2개의 초기 채널로부터 단일 채널로 결합될 때에, 결합된 채널 내의 각각의 초기 채널로부터의 유동 가스의 유효 채널 단면적은 가스 팽창 및 냉각에 대한 그 영향과 관련하여 결합된 채널의 전체 영역보다 실질적으로 작을 수 있다. 나아가, 대부분 또는 전체 유동 경로를 따라 상승된 상태로 플라즈마 전력 밀도 및/또는 온도를 유지함으로써, 가스는 가스 온도가 반응기를 통한 그 통과 중에 크게 변화되지 않도록 전체 유동 경로를 따라 더 뜨겁게 유지될 수 있다. 이것은 유동 단면적 면에서의 큰 증가를 피하는 것과 함께 반응기 내에서의 그 체류 시간 중에 갑작스러운 가스 냉각 그리고 벌크 유동 속도 면에서의 지연을 방지하고, 증착 화학종이 가스 상으로 존재하는 일부 실시예에서 감소된 입자 형성을 발생시킬 수 있고, 이것은 일부 적용 분야에 대해 처리 성능을 개선할 수 있다. 입자 성장은 온도가 약 100°C 미만인 가스에서 훨씬 빠르므로, 가스 온도는 예시 실시예에서 플라즈마의 유동 경로 전체를 통해 약 100°C 위에서 유지될 수 있다. 예시 실시예는 가스가 유동을 위한 단면적 면에서 급속한 팽창을 피하고 약 100°C 위에서 플라즈마를 통해 유동되는 가스와 접촉 상태로 모든 표면을 유지하기 때문에 이러한 높은 가스 온도를 유지할 수 있다.

[0034]

예시 실시예에서 배기 매니폴드 내에서의 플라즈마 활성을 제어할 수 있는 능력을 향상시키기 위해, 추가의 전극(들)이 이전에 설명된 구성과 관련하여 배기 매니폴드의 일부로서 추가될 수 있다. 가스 반응 부산물의 휘발성을 개선하고 및/또는 증착된 피막을 휘발시키는 가스가 또한 증착 사이클 중에 배기 영역에 추가될 수 있다. 이러한 세정 가스는 플라즈마 활성화에 의해 활성화될 것이 필요하거나 필요하지 않을 수 있다.

- [0035] 어떤 수량의 연속 처리 후에, 완전한 세정 사이클이 일부 실시예에서 여전히 요구될 수 있다. 완전한 세정 사이클은 라이너 또는 전극 표면 상에 증착된 피막 및 입자를 휘발시키는 입력 매니폴드를 거쳐 세정 가스를 주입하는 단계를 포함할 수 있다. 세정 가스의 반응은 플라즈마, 온도 또는 양쪽 모두에 의해 활성화될 수 있다. 세정 사이클은 증착 사이클 직후에 가열된 라이너 상에서 수행될 수 있거나, 라이너가 먼저 비-반응성 가스에 의해 생성되는 플라즈마 등의 세정을 위한 추가의 가열 기구에 의해 가열될 수 있다.
- [0036] 처리 시스템의 현장 세정과 관련된 구체적인 이슈는 세정될 오염량이 균일하게 분배되지 않을 수 있다는 것이다. 예컨대, 실리콘 증착 시스템에서, 배기 영역은 처리 영역보다 많은 세정을 요구할 수 있고, 이것은 결국 사전-활성화 영역보다 많은 세정을 요구할 수 있다. 추가로, 세정 가스는 또한 세정 표면을 침식시킬 수 있고, 그에 의해 바람직하지 못한 손상 및 입자를 생성한다. 예시 실시예에서, 전극에 대한 전압 위상은 증착 사이클과 상이하도록 세정 사이클 중에 조정될 수 있다. 이러한 방법은 대부분이 요구되는 증착물 및 입자의 제거를 향상시키고 적은 세정을 요구하는 표면 상에서의 침식을 감소시키도록 세정 사이클 중에 요구되는 것과 같이 각각의 전극 주위의 특정 영역에 대한 전력 분산을 증가시킬 수 있는 능력을 제공한다. 가스 조성물 및/또는 주입 위치가 또한 그 효과를 개선하도록 세정 사이클 중에 조정될 수 있다.
- [0037] 일부 실시예에서, 전극을 통해 처리 플라즈마 내로 주입된 가스는 그 전극 내의 2개 이상의 별개의 상부 저장조로부터 나올 수 있고, 상부 저장조는 양쪽 모두가 전극 내의 하부 저장조와 연결된다. 하부 저장조는 전극과 기관 사이의 공간 내로 가스를 운반하는 3개 이상의 열의 구멍을 급송할 수 있다. 일부 실시예에서, 전극(들) 내의 별개의 상부 저장조의 상이한 가스 조성물의 제공은 연속 열의 주입 구멍으로부터 주입된 처리 가스가 처리 플라즈마 내에서의 위치에 대한 요구된 기능 의존성에 따라 변화되는 조성물을 갖게 한다. 이것은 PGU의 긴 방향에 직각인 폭 방향을 따라 요구된 균일한 처리를 제공하는 것 또는 요구된 불-균일성으로써 처리를 수행하는 것 중 어느 한쪽을 수행하도록 플라즈마 내에서 생성된 화학종의 가스 상 농도를 제어하는 데 사용될 수 있다. 나노결정 실리콘의 증착의 경우에, 전력 공급 전극과 벌크 가스 유동의 방향을 따라 증가된 분율 실란 또는 디실란 함량을 갖는 기관 사이에서의 플라즈마로의 가스 혼합물의 주입은 증착된 nc-Si:H 피막의 훨씬 더 균일한 성질을 가능케 하고, 그에 의해 전지의 광 변환 효율 그리고 처리의 가치를 상승시킨다.
- [0038] 예시 실시예에서, 전력 공급 전극의 단면은 대략 균일한 간극이 인접한 전극들 사이에 형성된 직사각형일 수 있고, 일부 적용 분야에 유리하다면, 더 복잡한 형상 및 간극이 또한 형성될 수 있다. 전극 또는 분할기의 긴 모서리는 가스 스트림이 이러한 모서리를 통과하고 유동이 그 도중의 다음의 영역 내로 배기부까지 진행됨에 따라 재순환 유동을 피하도록 선택되는 곡률 반경을 갖게 라운딩 처리될 수 있다. 전력 공급 전극들 사이에, 전력 공급 전극과 기관 사이에 그리고 전극과 분할기 사이에 형성된 최소 간극은 모두가 전극의 폭, 전극의 높이 또는 이들 양쪽 모두보다 작을 수 있다. 이러한 간극은 2개의 대면 표면 사이의 위치에 따라 변화될 수 있지만, 이러한 변화량은 예시 실시예에서 최소 간극보다 작을 수 있다. 예시 실시예에서, 간극은 대개 균일하고, 대면 표면은 대부분의 이러한 영역에 걸쳐 실질적으로 평행하다. 플라즈마가 발생하는 대면 표면들 사이의 균일한 간격은 이러한 체적부 내의 플라즈마가 더 균일해지게 하는 경향을 가질 수 있고, 이것은 처리 성능을 개선할 수 있다. 일부 실시예에서, PGU 내의 전력 공급 전극들 중 적어도 하나가 또한 기관과 전력 공급 전극 사이에 형성된 간극보다 넓을 수 있다. 이것은 기관에 인접한 이러한 영역 내에서의 플라즈마 성질이 인접 영역 내에서의 플라즈마 성질과 독립적으로 제어되게 하고, 그 에너지가 가스 밀도에 의존하는 표면에 입자 충돌을 제공하는 상당한 시스 전위(sheath potential)를 유지한다.
- [0039] 전력 공급 전극(들)은 일부 실시예에서 가스 공급, 냉각수 및 가스 배기를 위한 도관을 제공할 수 있고 일부 실시예에서 물리적 지지부를 제공할 수 있는 유전성 구조물에 직접적으로 또는 그에 근접하게 장착될 수 있다. 불활성 및/또는 반응성 가스가 일부 실시예에서 유전성 구조물로부터 2개의 전력 공급 전극 사이에 형성된 간극 영역 내로 주입될 수 있다. 전력 공급 전극의 한쪽 또는 양쪽 모두 내측에 형성되는 가스 주입 매니폴드가 또한 전극 간극 및/또는 처리 영역에 직접적으로 가스를 공급하는 데 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 처리 영역에 의한 유동 후에, 가스는 각각의 PGU 내의 전력 공급 전극의 한쪽 또는 양쪽 모두 근처의 배기 포트를 향해 유동된다. 일부 실시예에서, 전력 공급 전극은 가스가 배기부를 향해 유동되는 이러한 영역 내에서 일관된 플라즈마를 생성하도록 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 전류의 적절한 공급원에 연결될 수 있다.
- [0040] 일부 실시예에서, 전원에 또는 접지부에 연결되는 금속 전극은 유전성 또는 약한-전도성 라이너에 의해 덮인 플라즈마-대면 표면(들)을 갖는다. 예시 실시예에서, 이들 라이너는 전극 상으로 직접적으로 피착될 수 있거나, 전극에 부착되는 별개의 본체일 수 있고, 그에 의해 플라즈마와 접촉되는 그 표면이 전극보다 약간 높은 온도에 있게 하도록 전극에 대한 유한하지만 작은 간극을 유지한다. 일부 적용 분야에서, 플라즈마와 접촉되는 표면은 표면 온도가 표면에 대한 주어진 열 플럭스에 대해 더 높게 하기 위해 더 낮은 열 전도도를 갖는 석영 또는 실

지어 "불투명" 석영 등의 라이너를 위한 재료를 사용하는 것이 유리할 수 있도록 최대한 뜨거운 것이 유리하다. 라이너가 유체 유동 또는 다른 방법에 의해 냉각될 수 있는 전극과 관련하여 상당히 크게 팽창되지 않도록 매우 낮은 열 팽창 계수를 갖는 석영, 다른 유전체 또는 저-전도도 금속 등의 재료가 사용될 수 있다. 작은 열 팽창은 라이너와 라이너 본체 사이의 잠재적인 마찰을 감소시키고, 전극의 내부 본체 내의 구멍 특히 플라즈마 내로 처리 가스를 주입할 수 있는 구멍과의 라이너 내의 구멍의 정렬을 유지한다. 예시 실시예에서, 라이너에 대한 라이너 본체의 간극은 플라즈마가 처리 압력에서 지속될 수 있는 최소 거리보다 작을 수 있고, 그에 의해 전극 표면과 라이너 사이에는 플라즈마가 발생되지 않는다. 라이너와 전극 사이의 간극은 라이너의 외부 표면의 온도가 처리의 요건에 따라 프로파일을 가질 수 있도록 라이너에 대한 가스 압력 및 열 플럭스를 기초로 하여 선택될 수 있다. 이러한 라이너(들)를 사용할 때에, 라이너의 표면은 플라즈마와의 효과적인 인터페이스일 수 있고, 라이너가 전도성 또는 유전성 재료인 지와 무관하게 플라즈마로의 RF, VHF 또는 UHF 전류 전달을 위한 효과적인 표면일 수 있다. 예시 실시예에서, 전극과 라이너 사이의 간극은 가스 압력 그리고 AC 전력 밀도 및 주파수에 따라 약 0.05 내지 약 3 mm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있다. 일반적으로, 더 높은 압력 그리고 더 낮은 AC 주파수는 더 작은 간극이 필요해지게 한다.

[0041] 일부 실시예에서, 라이너의 내부 표면과 전극 표면 사이의 간극은 도7에 도시된 것과 같은 기관과 대향되거나 또 다른 전극과 대면하는 그 표면의 대부분에 걸쳐 약 10% 내에서 일정하다. 일부 실시예에서, 라이너의 두께는 라이너 영역의 대부분에 걸쳐 대략 일정하다. 간극 및 두께의 양쪽 모두가 일정한 실시예에서, 일련으로 결합된 간극 및 라이너의 AC 임피던스는 전극 표면의 그 표면의 대부분에 걸쳐 대략 일정하다. 이러한 경우에, 전극 표면 AC 전위가 일정하고 플라즈마 임피던스가 그 표면의 영역에 걸쳐 대략 일정할 때에, 라이너 상에서의 결과적인 표면 전위가 또한 대략 일정할 것이다. 나아가, 위의 실시예들 중 일부에서, 플라즈마와 대면하는 라이너의 표면은 기관으로부터 전극까지의 간극이 균일하면 기관으로부터 라이너 표면까지의 간극이 균일하도록 전극 표면의 대부분에 걸쳐 하부 전극의 표면에 평행할 것이다.

[0042] 일부 예시 실시예에서, 라이너의 일부 부분은 이들 위치에서 실드(shield)가 전극과 접촉되도록 더 두꺼울 수 있거나 작은 치수 또는 치수들을 갖는 상승형 리지 또는 패드를 가질 수 있다. 이것은 실드 또는 라이너에 물리적 지지부를 제공하도록, 라이너와 전극 사이의 공간 내의 영역들 사이에서의 가스 유동을 최소화하는 장벽으로서 작용하도록 또는 그 영역의 대부분에 걸쳐 전극과 라이너 사이의 간극을 더 일정하게 제어 및 유지하도록 수행될 수 있다. 이러한 영역의 치수가 좁거나 작은 경우에, 실드의 AC 임피던스는 최소이고, 그에 의해 전극 상의 균일한 표면 전위가 주어지면 그 외부 표면 상의 라이너의 전위의 균일성을 보존한다. 일부 예시 실시예에서, 전극 표면에는 라이너의 상승형 또는 더 두꺼운 영역이 끼워지는 홈 또는 다른 작게 성형된 리세스가 있을 수 있지만, 이것은 라이너의 외부 표면 상에서의 상당한 전위 변화를 유발하지 않거나, 라이너의 임피던스의 대체적인 균일성을 교란하지 않을 수 있다.

[0043] 일부 실시예에서, 라이너는 전극과 라이너 사이의 간극이 제어 가능하고 전극의 상이한 영역 내에서 시간에 따라 실질적으로 변화되지 않도록 설계될 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 간극은 어느 쪽이 더 크든지 약 10% 또는 0.1 mm 초과만큼 변화되지 않는다. 일부 구성에서, 전력 공급 전극들 사이의 공간은 이러한 유전체 라이너에 의해 부분적으로 충전될 수 있지만, 상이한 플라즈마 영역 내에서의 가스 유동의 구성은 영향을 받지 않는다. 일부 예시 실시예에서, 라이너와 전극(들)의 내부 본체 사이의 간극의 크기는 라이너의 외부 표면에서의 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 세기가 위치에 대한 요구된 의존성을 갖게 하도록 내부 본체 표면 상의 위치에 따라 변화되게 할 수 있다. 이것은 플라즈마 내로 주입된 전력 밀도가 처리의 요건을 충족시키는 데 요구되는 것과 같이 성형되게 한다. 라이너 그리고 또한 간극의 두께는 일부 실시예에서 그 일련의 임피던스의 결합된 효과가 주입된 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 전력의 전력 밀도가 온도에 대한 요구된 의존성을 각계 하도록 위치에 따라 변화될 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 내부 본체를 덮는 이러한 라이너의 다중 층이 있을 수 있고, 여기에서 이들 사이의 간극은 플라즈마가 임의의 인접한 내부 표면들 사이에서 형성되지 않을 정도로 작다. 이러한 라이너는 상당한 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 반응성 임피던스를 나타낼 수 있지만, 이들은 이러한 반응성 임피던스가 과도하지 않을 정도로 충분히 작은 두께를 또한 가질 수 있다. 일부 적용 분야에서, 더 높은 가스 압력에서(예컨대, 약 200 Pa 위에서), 간극은 일부 실시예에서 약 1 mm 미만일 수 있다.

[0044] 일부 실시예에서, 간극은 라이너가 전극 내부 본체 내에서 실질적으로 그 위의 온도를 유지하게 한다. 상이한 가스 조성물 그리고 상이한 가스 압력의 사용은 일반적으로 라이너로부터 내부 본체로의 열 전달에 영향을 미칠 것이다. 혼합물이 수소 또는 헬륨 등의 상당량의 가벼운 가스를 사용하면, 라이너의 온도는 내부 본체의 온도에 더 근접할 것이고, 반면에 최소량의 수소 그리고 아주 적거나 전혀 없는 헬륨과 함께 기본 가스로서의 아르곤의 사용은 라이너와 내부 본체 사이의 더 높은 온도 차이를 가져올 것이고, 이것은 라이너로의 정상적인 열

플럭스에 대해 약 1 내지 3 W/cm²이고, 라이너는 전극 내부 본체보다 약 50℃ 내지 150℃만큼 뜨거울 수 있다. 플라즈마와 접촉되는 벽은 이와 같이 약 100℃ 위에서 유지될 수 있다. 이러한 경우에, 플라즈마 내에서의 가스 온도는 적절한 수준의 플라즈마 전력에 대해 그와 접촉되는 최저 온도 본체 전형적으로 벽보다 모든 곳에서 뜨거울 것이고, 그에 따라 100℃ 이상으로 유지될 수 있다. 플라즈마 체적 전체를 통한 가스 온도는 이러한 라이너로써 최소 약 100℃ 내지 200℃ 이상으로 유지될 수 있고, 이것은 일부 적용 분야에 대해 유리한 효과를 가질 수 있다.

[0045] 훨씬 더 높은 표면 전압을 가질 수 있고 잠재적으로 다양한 문제점을 유발할 수 있는 미처리 전극 표면의 직접적인 플라즈마 노출을 피하기 위해, 플라즈마에 대한 전극의 시선 노출(line-of-sight exposure)을 피하는 라이너 구성이 사용될 수 있다. 그러나, 일부 적용 분야에 대해, 가스가 제공된 전도 경로를 거쳐 전극으로부터 플라즈마 내로 주입될 것이 필요할 수 있다. 이러한 라이너의 일부 실시예는 이러한 라이너 내의 임의의 구멍 또는 좁은 슬롯을 덮는 배플(baffle)을 포함할 수 있고, 여기에서 이러한 배플은 가스가 배플 주위에서 그리고 그 다음에 구멍 또는 슬롯을 통해 플라즈마 내로 유동되도록 3개의 측면 상의 라이너의 잔여부로부터 좁게 이격된다. 간극이 좁으면, 어떠한 플라즈마도 그 내에서 지속되지 않을 것이고, 매우 적은 이온이 전극을 타격할 것이다.

[0046] 일부 실시예에서, 기관을 횡단하여 양쪽 모두가 전극의 긴 방향에 직각이고 기관 표면에 평행한 2개의 반대 방향의 가스 유동이 있고, 한편 다른 실시예에서 기관의 표면을 따라 단지 단방향의 가스의 벌크 유동이 있다. 단방향 유동은 일부 실시예에서 기관에 대해 매우 작은 간극을 갖는 분할기의 사용에 의해 성취될 수 있고, 여기에서 불활성 가스가 처리 가스 주입의 영역으로부터 불활성 가스 주입부를 향한 방향으로의 처리 가스의 유동을 크게 감소시키도록 주입될 수 있다. 일부 실시예에서, 기관은 PGU에 대해 이동된다. 이러한 경우에, 가스의 유동은 일부 영역에서 외관 기관 운동의 방향을 따른 그리고 다른 영역에서 그에 대향으로의 유동과 관련된 양방향 중 어느 한쪽일 수 있다. 다른 실시예에서, 유동은 PGU로부터 관찰될 때에 단지 기관의 외관 운동의 방향을 따를 수 있거나, 대체예에서 일부 실시예에서 기관 외관 운동에 대향될 수 있다.

[0047] 일부 실시예에서, PGU 내의 2개의 전력 공급 전극 사이의 공간은 절연성 재료로써 완전히 충전될 수 있고, 모든 가스는 전력 공급 전극 내의 구멍을 통해 유입될 수 있다. 증착 플라즈마와 대면하는 전극 하부 표면이 또한 1개 이상의 절연성 라이너에 의해 덮일 수 있다. 최외각의 이러한 층은 급송 가스의 이용 속도가 통상의 평행판 방전부에서보다 높아지게 할 수 있는 중공 캐소드 방전부(hollow cathode discharge)를 지지하는 작은 구멍을 가질 수 있다.

[0048] 예시 실시예에서 사용될 수 있는 PGU 구성의 추가예가 도4a 내지 도41에 개략적으로 도시되어 있다. 이들 PGU는 예컨대 처리 챔버(100 또는 200)에서 PGU로서 사용될 수 있거나, 위에서 설명된 것과 같은 다른 구성으로 사용될 수 있다.

[0049] 도4a는 2개의 전극(401, 402)을 갖는 PGU와 관련된 예시 실시예를 도시하고 있고, 여기에서 가스가 전극들 사이의 기관을 향해 유동되고, 이들 전극의 양쪽 모두에는 RF, VHF, UHF, 극초단파 주파수 또는 그 조합을 가질 수 있는 전원으로부터 교류 전류가 제공될 수 있다. 가스 스트림은 기관(400)으로 유동되고 분할되어 방향 전환되고 그에 따라 일부 가스는 각각의 전극과 기관 사이의 영역 내로 진입되고, 그 다음에 이러한 전극을 지나 유동된 후에 양쪽 측면 상에서 각각의 전극과 인접한 표면 또는 요소 사이에서 상향으로 유동되도록 재차 방향 전환되고, 이러한 요소는 또 다른 PGU의 요소 또는 일부 실시예에서 플라즈마가 또한 형성될 수 있는 단부편일 수 있다. 가스 유동 방향은 전력 공급 전극들 사이의 간극으로부터 유출된 후에 전력 공급 전극(401) 아래에서 좌측으로 그리고 전극(402) 아래에서 우측으로 향한다는 것이 도4a에서 주목되어야 한다. 그 결과는 가스가 2개의 전극과 대면하는 기관의 인접한 2개의 영역을 통한 반대 방향으로 유동된다는 것이다. 도4a에 도시된 것과 같이, 기관과 대면하는 전극은 도시된 실시예에서 가스가 유동되는 간극이 거의 일정하고 그에 의해 가스가 유동되는 채널의 거의 일정한 단면적을 생성하도록 대개 평탄하고 평행하다. 전력 공급 전극들 사이, 전력 공급 전극과 기관 사이 그리고 전력 공급 전극과 외부측 구조물 사이의 간극은 모두가 독립적으로 설정될 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 상이한 간극은 가스가 그 유동 경로를 따라 상당한 팽창을 경험할 정도로 크게 상이한 크기를 갖지 않아야 한다. 이와 같이, 가스는 주입 지점으로부터 그 단면적이 약 2 초과의 인자만큼 증가되지 않는 체적부를 통해 연속적으로 유동된다. 이와 같이, 가스가 챔버 내의 그 유동 경로 내에서 방향 전환될 때에도, 가스는 상당한 팽창 또는 냉각을 경험하지 않는다.

[0050] 도4a에 도시된 것과 같이 2개의 전력 공급 전극을 갖는 일부 실시예에서, 다른 전극 또는 기관 중 어느 한쪽과 대면하는 이러한 전극 표면은 약간의 가스 팽창 및 압축이 각각의 영역 내에서의 유동 중에 일어나도록 평탄 또

는 평행할 필요는 없다. 그러나, 일부 실시예는 이러한 영역 내에서의 가스 냉각이 과도하지 않도록 약 2 미만의 인자까지 유동 경로를 따른 이러한 체적 팽창 또는 압축을 제한할 수 있다.

[0051] 도4b는 2개의 전극 PGU의 예시 구성을 도시하고 있고, 여기에서 하나의 전극(411)은 접지되고, 다른 전극(412)에는 RF, VHF, UHF, 극초단파 주파수 또는 그 조합을 가질 수 있는 교류 전류가 제공된다. 접지 전극(411)은 기관에 인접한 그 단부에서 절연체 세그먼트를 갖거나 갖지 않을 수 있다. 일부 실시예에서, 기관(400)과 접지 전극(411)의 저부 사이의 간극은 접지 전극의 저부에서 기관에 대한 더 좁은 간극에 의해 제공되는 가스 유동에 대한 효과적인 장벽으로 인해 불활성 가스일 수 있는 접지 전극(411)과 전력 공급 전극(412) 사이의 상부로부터 주입되는 가스가 전력 공급 전극(412) 아래에서 실질적으로 우측으로 유동되게 유도하도록 기관(400)과 전력 공급 전극(412) 사이의 간극에 비해 작다. 이러한 장벽을 효과적으로 만들기 위해, 이러한 접지 전극(411)과 기관(400) 사이의 간극은 일부 실시예에서 플라즈마가 이러한 간극 내에서 거의 또는 전혀 발생되지 않도록 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극보다 매우 작거나 훨씬 작을 수 있다. 일부 실시예에서, 처리를 위한 가스가 전력 공급 전극(412)의 저부로부터 전극과 기관 사이의 영역 내로 주입될 수 있다. 일부 실시예에서, 불활성 가스가 또한 접지 전극을 통해 접지 전극과 기관 사이의 영역 내로 주입될 수 있다. 불활성 가스가 접지 전극의 저부로부터 주입되는 실시예에서, 그 가스는 접지 전극의 양쪽 측면 상에서 유동되는 가스가 주로 별도로 유지되도록 양쪽 방향으로 즉 좌측 및/또는 우측으로 유동될 수 있다. 유동 장벽의 형성은 기관과 접지 전극 사이의 간극이 약 2 mm 미만 그리고 일부 실시예에서 약 0.02 mm 초과 그리고 약 0.2 mm 이하일 때 가장 효과적일 수 있다. 이러한 작은 간극의 효과가 도4b에 도시되어 있고, 그에 의해 전력 공급 전극 아래의 영역으로부터 좌측을 향한 처리 가스의 유동을 최소화하고, PGU 내의 처리 화학종의 유동 방향이 단지 우측으로 향하게 한다. 결과적인 가스의 유동 패턴은 순차적으로 우선 접지 및 전력 공급 전극들 사이의 기관을 향해 아래로 유동되고, 그 다음에 전력 공급 전극과 기관 사이를 통과하도록 이러한 유동을 방향 전환시키고, 그 다음에 다중의 인접한 이러한 PGU를 갖는 실시예에서 전력 공급 전극과 인접한 PGU의 접지 전극 사이의 기관으로부터 멀어지는 상향 유동으로 재차 방향 전환된다. 이러한 유동 패턴은 인접한 PGU와 챔버 내에 존재하는 동일한 설계의 다른 PGU에서 계속될 수 있다. 이러한 방식으로, 기관이 PGU에 대해 우측 또는 좌측으로 이동되는 실시예에서, 처리 가스의 유동은 PGU에 대한 기관 운동의 방향을 따라 또는 그 운동에 반대로 중 어느 한쪽의 방식으로 단방향으로 진행될 수 있다. 이러한 단방향 가스 유동은 일부 적용 분야에서 도4a에 도시된 것과 같은 양방향 유동을 갖는 처리 결과에 비해 처리 결과를 개선하는 데 유용할 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 유동은 PGU에 대한 기관의 이동과 동일한 방향으로 진행될 수 있다.

[0052] 도4b에 예시된 일부 실시예에서, 접지 전극(411)의 저부를 통한 불활성 가스의 주입은 기관이 위로 이동되어 전극의 저부와 접촉되는 것을 방지할 수 있고, 접지 전극과 기관 사이의 간극을 제어하는 것을 도울 수 있다.

[0053] 도4c는 도4a의 PGU 구성과 유사하지만 인접한 PGU가 상이한 가스 혼합물을 사용하여 처리를 수행할 때에 사용될 수 있고 인접한 PGU 내의 처리 가스가 격리될 필요가 있는 PGU 구성의 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 이러한 경우에, 전력 공급 전극(421, 422)에 추가하여, 도4b에서의 접지 전극과 유사하게 기관에 대해 매우 작은 간극을 갖는 접지 전극(423)이 있고, 접지 전극은 또한 접지 전극에 인접하게 그리고 접지 전극을 통해 양쪽 모두의 방식으로 불활성 가스를 주입하는 역할을 할 수 있다. 일부 실시예에서, 가스의 유동 경로는 상부로부터 주입된 가스가 기관(400)을 향해 이동되는 전력 공급 전극들 사이에서 시작되고, 그 다음에 전극을 통과한 후에, 유동은 2개의 전력 공급 전극의 각각과 기관 사이의 영역으로 2개의 경로로 분할된다. 전력 공급 전극과 기관 사이의 영역을 통과한 후에, 양쪽 방향으로의 유동은 재차 방향 전환되고, 기관으로부터 멀어지게 상향으로 그 다음에 배기부로 이동된다. 상향 유동에 대한 이러한 경로는 접지 전극(423)에 대한 간극에 의해 전극(422)에 대해 형성된다. 전력 공급 전극(421)에 대해, 상향 유동 경로는 인접한 PGU에 대한 간극 또는 챔버(100 또는 200)의 일부인 요소 중 어느 한쪽에 의해 형성된다. 도4c에 도시된 실시예에서, 가스가 각각의 전력 공급 전극으로부터 전력 공급 전극 그 자체와 기관 사이의 가스 및 플라즈마 영역 내로 주입될 수 있다. 일부 실시예에서, 처리 가스는 또한 하나 또는 양쪽의 전력 공급 전극으로부터 2개의 전력 공급 전극(421, 422) 사이의 공간 내로 주입될 수 있다. 또한, 라이너가 전력 공급 전극을 덮을 수 있고, 라이너가 또한 각각의 이러한 PGU 내의 임의의 접지 전극을 덮을 수 있다. 전극에 제공되는 AC 전력은 RF, VHF, UHF, 극초단파 주파수 또는 그 조합을 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 전력 공급 전극들 사이, 전력 공급 전극과 기관 사이 그리고 전력 공급 전극과 접지 전극 사이에는 플라즈마가 있다. 일부 실시예에서, 임의의 이러한 플라즈마의 전력 밀도 및 전자 밀도는 약 5 초과의 인자만큼 임의의 다른 플라즈마와 상이하지 않다. 일부 실시예에서, 기관과 대면하는 전력 공급 전극의 측면의 모서리(도4a에서 404, 도4c에서 424)는 가스가 층류 유동으로써 그리고 재순환 없이 하나의 영역으로부터 다음의 영역으로 연속적으로 유동되도록 곡률 반경을 갖게 라운딩 처리될 수 있다.

[0054] 도4d는 전력 공급 전극 그리고 전기적으로 접지되지 않는 분할기를 갖는 PGU 구성의 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 분할기(431)는 그 자체와 전력 공급 전극(432) 사이에 강력한 전기장을 수립하지 않고, 그에 따라 전력 공급 전극에 밀접하게 위치될 수 있다. 분할기는 예컨대 유전성 재료로부터 또는 어떠한 접지부 또는 전원에 연결되지 않으면 전도성 재료로 제조될 수 있다. 가스가 분할기(431)와 전력 공급 전극(432) 사이에 주입되고, 가스는 그 다음에 기관(400)을 향해 아래로 유동된다. 분할기와 기관 사이의 간극은 분할기와 전극 사이에 주입된 가스가 전극 아래에서 우측으로 거의 전체적으로 유동되도록 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극 보다 작을 수 있다. 나아가, 처리 가스는 전력 공급 전극으로부터 전력 공급 전극 그 자체와 기관 사이의 영역 내로 유입될 수 있다. 이와 같이, 초기에 하향으로 유동되는 가스 스트림은 전극 아래에서 유동되도록 방향 전환되고, 그 다음에 전극을 통과하고, 기관으로부터 멀어지게 상향으로 유동되도록 방향 전환된다. 분할기와 전극 사이의 간극은 일부 실시예에서 간극을 통해 유동되는 가스가 파괴되지 않고 활성화될 정도로 작을 수 있다. 대체예에서, 다른 실시예에서, 간극은 이러한 가스가 파괴되고 활성화될 정도로 충분할 수 있다. 불활성 가스가 또한 분할기와 기관 사이의 간극을 세정하고 전극으로부터 주입된 가스가 우측으로 유동되는 것을 보증하는 추가의 장벽을 제공하도록 분할기의 저부에서 유입될 수 있다. 이러한 구성의 일부 실시예에서, 상향으로 유동되는 가스가 또한 파괴되고 PGU들 사이에서 플라즈마를 형성하도록 다른 PGU가 도1에서와 같이 근접하게 이격될 수 있다. 일부 실시예는 그 주위에서 유동되는 가스가 비-재순환 방식으로 유동되도록 전극 또는 분할기의 저부 모서리 상에서 라운딩 처리된 모서리를 갖는다.

[0055] 도4e는 접지 전극 또는 분할기 중 어느 한쪽이 2개의 전력 공급 전극(441, 443) 사이에 위치될 수 있는 중심 요소(442)를 갖는 PGU의 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 기관을 향한 가스 주입 경로는 이러한 실시예에서 2개의 인접한 전력 공급 전극(441, 443)에 대한 중심 요소(442)의 2개의 간극에 의해 형성된다. 기관을 향해 유동되는 가스는 전력 공급 전극을 따라 형성된 간극으로부터 배출된 후에 방향 전환되고, 그에 의해 전력 공급 전극(441, 443)의 각각 그리고 기관(400) 아래의 영역 내로의 기관 표면을 따른 반대 방향으로의 유동을 발생시킨다. 전극(441, 443) 아래를 통과한 후에, 가스는 전극과 양쪽 측면 상의 인접한 PGU의 요소, 또는 챔버(100 또는 200)의 다른 인접한 구조물 또는 벽 부분 사이에 형성된 간극 내에서 기관으로부터 멀어지게 유동되도록 방향 전환된다. 주입된 가스 유동의 방향 전환은 중심 요소(442)와 기관(400) 사이의 간극이 2개의 전력 공급 전극(441, 443) 사이에서의 기관에 대한 간극보다 작아지게 함으로써 향상될 수 있다. 도4e는 또한 중심 요소와 기관(400) 사이의 간극 내로의 중심 요소의 저부로부터의 가스 주입의 선택 특징부를 도시하고 있다. 중심 요소의 저부에서의 주입의 추가는 하나의 측면과 다른 측면 사이에서의 화학적 활성 화학종을 추가로 격리하고 이러한 영역 내에서의 가스 재순환을 감소시키는 역할을 한다. 이러한 구성은 하나 또는 소수의 PGU가 챔버 내에서 사용되고 1개 초과 종류의 층이 요구될 때에 특히 하나의 층의 형성을 위해 필요한 가스 화학종이 인접한 층의 형성에 대한 오염원일 때에 가장 적절하다. 이러한 경우에, 하나의 PGU 처리와 인접한 PGU 처리 사이에서의 처리를 위한 가스의 격리는 이러한 실시예의 중요한 장점이다. 다른 경우에, 그 이유는 처리의 지속 시간 또는 증착 층의 두께가 매우 작아야 하고 정확하게 제어되어야 한다는 것일 수 있다.

[0056] 도4e와 관련하여 논의된 것과 같은 유사한 적용 분야가 수행되어야 하지만 중심 배기부가 요구될 때에, 도4f에 의해 개략적으로 도시된 구성이 적절할 수 있다. 이러한 실시예는 분할기 또는 접지 전극인 중심 요소(452) 그리고 양쪽 측면 상의 전력 공급 전극(451, 453)을 갖는 도4e에서와 동일한 구성을 사용할 수 있다. 도4e와 도4f 사이의 기본적으로 관찰 가능한 차이는 가스가 PGU의 우측 및 좌측 상에서 주입되고 중심 요소에 인접하게 배기되도록 가스 유동 방향이 역전된다는 것이 이해될 수 있다. 중심 요소(452)가 접지 전극이면, 2개의 전극으로의 AC 전력은 독립적으로 작용하고, 2개의 전극으로의 전력 공급은 동일 또는 상이할 수 있다. 중심 요소가 분할기인 경우에, 플라즈마가 중심 요소의 양쪽 측면 상의 중심 채널 내에서 요구되면, 2개의 전극으로의 AC 전력은 상이하야 하고 즉 상이한 위상 또는 상이한 주파수 중 어느 한쪽을 가져야 한다. 다른 실시예에서 이전에 설명된 것과 같이, 불활성일 수 있는 가스가 2개의 측면 사이에서의 화학적 격리를 개선하도록 중심 요소의 기부로부터 주입될 수 있다.

[0057] 도4g는 기관에 인접한 단방향 유동 그리고 하나의 PGU와 인접한 PGU 사이에서의 화학적 격리를 갖는 PGU의 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 이러한 경우에, 활성화 또는 처리를 위한 가스가 전력 공급 전극(461, 462) 사이 그리고 또한 가장-좌측의 전극과 인접한 PGU 또는 구조물 사이로부터 기관을 향해 주입될 수 있다. 가스가 또한 전력 공급 전극들 중 한쪽 또는 양쪽 모두의 기부로부터 주입될 수 있다. 나아가, 우측 상의 요소(463)는 불활성 가스 또는 처리 가스의 공급원으로서 또한 역할을 할 수 있는 분할기 또는 접지 전극 중 어느 한쪽일 수 있다. 이러한 구성은 PGU 내에서의 표면 트리트먼트, 식각 또는 증착을 위한 처리가 순차적인 또는 혼합된 화학적 성질을 요구하거나 이러한 PGU 내에서의 처리가 인접한 PGU 또는 영역 내에서의 처리로부터 격

리되어야 할 때에 가장 적절할 수 있다.

[0058] 도4h는 상이한 PGU 또는 PGU의 그룹 사이에서의 화학적 격리를 성취할 수 있는 PGU의 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 이러한 실시예에서, 접지 전극 또는 분할기, 또는 각각 하나씩 중 어느 한쪽인 2개의 수동 요소(471, 472)가 그 사이의 좁은 간극 또는 채널을 통해 기관에 바로 인접한 공간으로 가스를 안내하는 역할을 수행한다. 이러한 간극은 이전의 도면에서와 같이 약 0.02 내지 약 2 mm일 수 있다. 2개의 수동 요소(471, 472)는 가스의 대부분이 우측 또는 좌측 중 어느 한쪽으로 유동되게 하도록 위에서 언급된 범위 내에서 기관에 대해 상이한 간극 거리를 가질 수 있다. 이러한 가스는 일부 실시예에서 바람직하게는 그 영역과 이러한 쌍의 요소의 좌측 및 우측 사이를 화학적으로 격리하도록 불활성일 수 있다. 더 양호한 화학적 격리가 PGU들 사이에서 요구될 때에, 이러한 수동 요소와 기관 사이의 간극은 약 0.5 내지 0.02 mm의 범위 내에 있을 수 있다. 이러한 쌍의 수동 요소의 우측에는 AC 전력 공급 전극(473)이 있다. 이러한 전력은 전극(473)과 요소(472) 사이에서 플라즈마를 지속시킬 수 있고, 이러한 플라즈마는 이들 2개 사이에서 아래로 주입되는 가스를 활성화시킬 수 있다. PGU 내에서의 가스의 유동 패턴은 처리 가스가 전력 공급 전극의 저부로부터 주입될 수 있고 그에 의해 이전에 설명된 가스 유동과 혼합되는 도4d에서의 가스의 유동 패턴과 유사할 수 있다. 이러한 구성은 비교적 용이하게 제조되고, 일부 실시예에서 2개의 수동 요소는 이들 사이의 간극이 플라즈마가 그 내에서 지속되지 않을 수 있는 정도로 좁게 결합될 수 있다. 이러한 경우에, 가스는 활성화되지 않고, 단지 이러한 수동 요소와 기관(400) 사이의 그 매우 좁은 간극을 세정하는 역할을 수행할 수 있다.

[0059] 가스가 기관과 만나기 전에 가스의 사전-활성화가 요구되지 않는 경우에, 도4i의 구성이 예시 실시예에서 도4h에 의해 설명된 이전에 논의된 구성 대신에 사용될 수 있다. 이러한 경우에, 접지 전극 또는 분할기, 또는 각각 하나씩 중 어느 한쪽일 수 있는 2개의 수동 요소(481, 482)는 이들 사이 그리고 요소(482)와 전력 공급 전극(483) 사이의 양쪽 모두에서 좁은 간극을 갖는다. 가스가 수동 요소 사이 그리고 요소(482)와 전극(483) 사이의 공간 또는 채널을 통해 주입될 수 있다. 가스는 불활성 가스일 수 있고, 전력 공급 전극 아래의 화학적 성질과 수동 요소의 좌측에 대한 가스 화학적 성질 사이에서의 격리를 유발한다. 가스 스트림이 전극(483) 아래를 통과할 때에, 추가의 가스가 전극과 기관(400) 사이의 영역 내에서 가스 혼합물을 조정하도록 이러한 전극의 저부로부터 그 내로 주입될 수 있다. 이러한 영역을 통과한 후에, 가스 유동은 전력 공급 전극(483)과 인접한 PGU로부터의 요소, 또는 챔버(100 또는 200)의 요소 또는 벽 부분 사이에 형성된 간극을 거쳐 배기부로 기관으로부터 멀어지게 방향 전환된다.

[0060] 도4j는 매끄러운 가스 유동을 성취하거나 재순환을 피하는 것을 도울 수 있는 PGU의 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 이러한 경우에, 분할기(491)가 전력 공급 전극(492)에 인접하게 그리고 그로부터 근접하게 이격된다. 전력 공급 전극의 다른 측면 상의 제2 분할기(493) 그리고 우측으로 가장 멀리 떨어진 제2 전력 공급 전극(494)이 또한 있다. 일부 실시예에서, 분할기(491, 493)는 동일 또는 매우 유사할 수 있고, 전극(492, 494)은 유사한 형상을 가질 수 있다. 전극(492, 494)은 도시된 것과 같은 그 저부에서의 절연성 돌출부 또는 바람직하게는 절연성 라이너의 확대부를 가질 수 있고, 그에 의해 이러한 특징부와 기관(400) 사이의 간극이 매우 작다. 가스가 분할기와 전극 사이에 주입될 때에, 가스는 저부로부터 기관에 인접한 좁은 간극 내로 유동되고, 이러한 영역을 세정하고 좌측 및 우측에서의 영역들 사이에서의 가스 혼합을 방지하는 역할을 수행할 수 있다. 가스는 또한 전극(492)의 저부로부터 주입될 수 있다. 전극을 통과한 후에, 가스는 그 전극과 인접한 분할기(493) 사이에서 기관으로부터 멀어지게 유동되도록 방향 전환된다.

[0061] 도4k는 기관에 인접한 정체 유동 영역을 최소화 또는 제거하는 데 도움이 될 수 있는 추가의 분할기를 갖는 PGU의 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 이러한 실시예는 추가된 특징부를 갖는 도4a의 실시예이고, 그에 따라 동일한 도면 부호가 그 공통 구성 요소에 대해 반복된다. 가스가 주입되고, 전력 공급 전극(401, 402) 사이에서 기관을 향해 유동되고, 분할기(403)에 도달될 때에 분할되고, 2개의 별개의 스트림이 그 다음에 2개의 전력 공급 전극 아래에서 반대 방향으로 통과된다. 추가의 가스가 또한 기관을 따라 이미 통과한 유동과 결합되도록 전극으로부터 주입될 수 있다. 가스 스트림이 각각의 전극 아래의 영역을 통과한 후에, 가스는 다른 실시예에서 이전에 설명된 수단에 의해 각각의 전극의 대향측을 따라 기관 표면으로부터 멀어지게 방향 전환된다. 분할기(403)는 그들 사이의 좁은 공간 내에서의 플라즈마를 억제하도록 기관(400)에 대해 매우 좁은 간극으로써 위치될 수 있다. 이러한 종류의 분할기는 또한 더 긴 분할기 구조물의 일부로서 위로부터 지지될 수 있다. 분할기(403)가 석영 또는 알루미늄 산화물 등의 유전성 재료로 제조되는 실시예에서, 분할기는 전력 공급 전극으로의 AC 전류에 의해 지속되는 플라즈마 방전에 대해 최소의 영향을 미칠 수 있다. 분할기가 금속 또는 다른 양호한 도체로 제조되면, 분할기는 그 자체와 2개의 인접한 전극 사이의 그 영역 내에서 플라즈마 밀도를 향상시키는 역할을 수행할 수 있다.

[0062] 도41은 기관 표면을 따른 단방향 유동 그리고 기관(400)에 대한 간극의 제어의 특징을 결합시킨 PGU의 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 여기에서, 분할기 또는 접지 전극일 수 있는 요소(495)는 그 자체와 전력 공급 전극(496) 사이에 주입된 가스의 재순환-없는 유동을 촉진시키는 형상을 갖는다. 가스가 요소와 기관(400) 사이의 좁은 간극을 세정하도록 요소(495)의 하부측으로부터 주입될 수 있다. 이러한 세정은 요소의 우측에서의 영역으로부터 요소의 좌측에서의 영역을 화학적으로 격리하는 역할을 수행한다. 분할기의 형상은 화학적 격리를 더욱 촉진시키도록 간극 내에서의 가스 압력을 최대화하도록 되어 있다. 요소로부터의 가스 유동은 또한 기관이 요소의 저부와 접촉되는 것을 방지하고, 그에 의해 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극을 제어하는 것을 돕는다. 나아가, 일부 실시예에서, 요소 내에는 이러한 요소의 저부로부터 주입되는 가스의 일부가 또한 가스가 전력 공급 전극 주위의 영역 내로 유동될 수 있기 전에 펌핑되도록 배기부로 연결되는 덕트가 또한 있을 수 있다. 이것은 처리에 참여하는 이러한 가스의 효과를 최소화하는 것을 도울 수 있다. 이러한 특징부를 포함하는 실시예에서, 요소(495)와 기관(400) 사이의 간극은 가스의 결합된 주입 및 펌핑이 전력 공급 전극으로부터 요구된 거리에서 더 엄밀한 한계 내에서 기관을 유지하는 가스 압력을 가하는 역할을 수행하는 가스 "베어링"으로서 역할을 수행할 정도로 좁을 수 있다. 이것은 기관이 PGU에 대해 이동될 때 특히 중요할 수 있고, 기관의 "진동"은 그렇지 않으면 전력 공급 전극에 대한 간극 면에서 상당한 변화를 유발하고, 그에 의해 처리 특성의 비-균일성을 발생시킨다. 이와 같이, 분할기로서의 이러한 특징부는 서로로부터 화학적으로 인접한 영역을 격리하고 또한 전극과 기관 사이의 간극을 더 안정되게 유지하는 것을 돕는다. 이들은 기관 표면 상에서 수행되는 처리의 개선된 제어, 균일성 및 반복성을 위해 중요할 수 있다.

[0063] 일부 예시 실시예에서, 도5에 도시된 것과 같이, PGU 내의 2개의 전력 공급 전극(501, 502)은 하나의 전극(501)으로의 순간 전류가 다른 전극(502)으로의 순간 전류와 크기 면에서 대략 동일하고 부호 면에서 반대이도록 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 전원에 연결된다. 도시된 실시예에서, 전력 공급 전극은 처리 가스가 매니폴드(503)로부터 작은 구멍(504)을 통해 주입되는 간극이 있는 상태로 대략 서로의 거울상이다. 이러한 간극 내에서, 전극(501, 502) 사이의 AC 전위차로 인한 가스의 전기적 파괴에 의해 형성되는 플라즈마(505)가 또한 지속된다. 복합 임피던스(Z)(511)를 거쳐 접지부에 연결될 수 있는 중성 전극인 기관 또는 기관을 위한 캐리어(507)의 대향측 상에는 (중성 전극일 수 있는) 지지 구조물(506)이 또한 존재한다. 이러한 임피던스(511)는 단순하게 물리적 간극 또는 스트랩(들)으로부터 또는 (커패시터 및 인덕터 등의) 저항 및 리액턴스 성분을 갖는 전기 구성 요소 및/또는 다이오드 또는 베리스터 등의 고체 상태 요소로부터 기인할 수 있다. 중성 전극(506)은 기관 또는 기관을 위한 캐리어를 물리적으로 지지할 수 있다. 이러한 예시 실시예에서, 중성 전극(506)은 실질적으로 각각의 쌍의 전력 공급 전극에 대한 제3 전극이고, 그에 의해 함께 이들이 트라이오드(triode)를 구성한다. 기관에 대향되는 전극의 측면 상에는, 일부 실시예에서, 전극(501, 502)을 지지하고 위치시키는 역할을 수행하는 유전성 지지 구조물(508)이 존재할 수 있다. 일부 실시예에서, 지지 구조물은 금속으로 제조될 수 있고, 이 때에 전극이 절연성 재료로 제조된 스탠드오프(standoff)를 통해 지지된다. 대체예에서, 일부 실시예에서, 전력 공급 전극을 위한 지지 구조물은 절연성 재료로 제조된 스탠드오프를 갖는 챔버 벽 및/또는 진공 벽일 수 있다.

[0064] 지지부(508)는 또한 전극들 사이에 있는 플라즈마 체적부(505)의 상부 그리고 또한 전극과 기관 사이에 있는 그 체적부(509)의 하부 부분의 양쪽 모두로 공급되는 가스를 위한 채널을 제공할 수 있다. 일부 실시예에서, 실리콘 및/또는 게르마늄을 함유한 가스가 전극 내의 주입 매니폴드(510, 512)로부터 플라즈마 내로 주입된다. 일부 실시예에서, 전극들 사이에 그리고 전극 내로부터 주입된 가스는 수소, 산소, 질소, N₂O, 불활성 가스 그리고 실리콘, 게르마늄, 또는 아연, 주석, 알루미늄 등의 금속을 함유한 가스를 함유할 수 있다. 도5의 구성에서, 일부 실시예에서, 전극들 사이의 간극 그리고 전극과 기관 사이의 간극은 이러한 전극의 길이를 따라 대략 일정할 수 있고, 양쪽 모두의 간극은 이러한 전극의 폭 또는 그 높이 중 어느 한쪽보다 작다는 것이 주목되어야 한다. 일부 실시예에서, 이들 간극은 다중 전극이 그 폭에 비해 기관으로부터 더 멀리 떨어진 일부 다른 구성과 달리 이러한 간극 내의 플라즈마 내에서의 전위가 전력 공급 전극 및 기관일 수 있는 가장 근접한 2개의 경계 형성 표면의 전위에 의해 결정되도록 전극의 폭보다 훨씬 작을 수 있다. 나아가, 이러한 전극들 사이의 간극 그리고 전극과 기관 사이의 간극은 크기 면에서 유사할 수 있다. 예컨대, 일부 실시예에서, 전극(501, 502) 사이의 간극은 약 0.6 cm 내지 1.5 cm일 수 있고, 한편 전극(501, 502)과 기관(507) 사이의 간극은 약 0.5 cm 내지 1.5 cm일 수 있다. 이러한 간극은 각각의 플라즈마 영역 즉 전극들 사이의 하나의 영역 그리고 전극과 기관 사이의 다른 하나의 영역 내에서의 전력 밀도의 비율이 특정 처리 적용 분야에 대해 최적이도록 선택될 수 있다. 저-수소 실리콘 질화물, 또는 저온 실리콘 산화물 또는 실리콘 질화물의 증착 등의 일부 적용 분야는 전극과 기관 사이에서보다 전극들 사이에서 높은 전력 밀도로부터 이익을 얻을 수 있다. 예시 실시예에서, 이러한 전력 밀도(W/cm²)의 비율은 약 10을 초과하지 않을 것이고, 많은 경우에 약 5의 인자를 초과하지 않

을 것이다.

[0065] 나아가, 특정 실시예에서, 간극은 전극(501, 502) 사이의 간극에 의해 형성된 유동 채널의 단면적이 전극(501, 502)과 기관(507) 사이의 간극에 의해 형성된 유동 채널의 단면적의 50%만큼 초과하도록 선택될 수 있다. 이것은 가스 스트림이 하나의 영역으로부터 다른 영역으로 유동됨에 따라 체적 팽창으로 인해 냉각되지 않는 것을 보증하는 것을 돕는다. 전력 밀도 및 채널 단면적의 양쪽 모두 그리고 또한 경계 형성 표면의 온도가 상당히 상이하지 않을 때에, 가스 온도는 가스가 하나의 영역으로부터 다음의 영역 내로 유동됨에 따라 갑자기 하강되지 않을 것이다. 일부 실시예에서, 전극(501, 502)의 하부 모서리는 전극들 사이의 영역으로부터 기인하는 가스 유동이 재순환 유동 패턴을 형성하지 않으면서 이러한 모서리를 매끄럽게 통과하도록 약 1 cm 이상의 곡률 반경을 갖게 라운딩 처리된다는 것이 주목되어야 한다. 이러한 재순환 유동을 피하는 최소 곡률 반경은 이러한 가스의 유동 속도 및 밀도 그리고 또한 전극과 기관 사이의 거리에 의존한다. 예컨대, 약 4 kPa의 가스 압력에서, 전극 길이의 m 당 약 4 SLM(Standard Liters per Minute)의 가스의 유동 속도로써, 약 8 mm의 전극들 사이의 간극 그리고 약 8 mm의 전극과 기관 사이의 간극과 관련하여, 모서리를 위한 최소 곡률 반경은 일부 실시예에서 약 1 mm일 수 있다. 최대 반경은 일부 실시예에서 전극과 기관 사이의 간극과 대략 동일하거나 그보다 약간 클 수 있다. 일부 실시예에서, 재순환 유동을 방지하는 반경은 동일한 목적을 효과적으로 수행하는 패싯(facet) 또는 다중 패싯 즉 베벨(bevel)에 의해 교체될 수 있다.

[0066] 도5에 도시된 것과 같은 일부 실시예에서의 가스 압력의 범위는 약 200 Pa 내지 약 10,000 Pa 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있다. 유전성 재료가 증착되는 실시예에 대해, 압축 응력이 약 100 MPa 이상으로 요구되는 경우에, 가스 압력은 약 50 Pa 내지 약 500 Pa의 범위 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 존재할 수 있다. 폴리실리컨 또는 결정질 태양 전지를 위한 부동태화 코팅 등의 적용 분야에 대해, 피막 응력이 낮아야 하고 기관의 이온 충돌 그리고 피막 성장이 최소화되어야 하는 경우에, 압력은 일부 실시예에서 약 1000 Pa(1 kPa) 위에서 유지될 수 있다. 약 10 mm 아래의 전극들 사이의 더 작은 간극 그리고 약 10 mm 아래의 기관과 전극 사이의 더 작은 간극이 사용되는 경우에, 압력은 일부 실시예에서 약 5,000 Pa 내지 약 15,000 Pa의 범위 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 존재할 수 있다.

[0067] 전극 길이의 m 당 PGU 내에서의 총 가스 유동은 예시 실시예에서 약 200 sccm(Standard Cubic Centimeters per Minute) 내지 20 slm의 범위 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 존재할 수 있다. 유동은 약 1000 Pa 위의 더 높은 압력에서의 처리에 대해 약 2 slm 위의 범위의 더 높은 쪽 내에 존재할 수 있다. 전형적인 가스 조성은 특정 적용 분야에 의존한다. 표 I 은 예시 실시예에서 사용될 수 있는 압력 및 가스 유동에 대한 계획된 범위와 함께 일부 예시 적용 분야 그리고 그와 관련된 가스 혼합물의 목록을 포함한다. 압력, 가스 혼합물, 유동 및 AC 전력 수준의 이러한 범위는 도4a-도41에 도시된 PGU들 중 임의의 PGU 또는 그 조합을 사용하여 도1-도3 또는 도5-도11에 도시된 구성들 중 임의의 구성을 사용하여 수행될 수 있는 처리에 적용될 수 있다. 일부 예에서, 아래의 처리는 나열된 가스의 모두보다 적은 가스로서 수행될 수 있다. 아래의 예시 압력 및 가스 유동은 아래에 나열된 범위 내에 속하는 임의의 범위를 포함한다. 이들은 단지 예이고, 다른 실시예가 다른 가스 혼합물, 압력 및 가스 유동을 사용할 수 있다.

표 1

공정 적용 분야	가스	가스, 가스 압력(Pa)	총 가스 유동 (전극의 길의 m 당 표준 리터/분)
낮은 수소 함량을 갖는 실리콘 질화물의 증착	N ₂ , Si _n H _{2n+2} , NH ₃ , Ar, He, SiF ₄ , NF ₃ , SiHCl ₃ , SiH ₂ Cl ₂	50-2000	0.1-5
SiN 증착의 예시 실시예	N ₂ , SiH ₄ , Ar, He	100-300	0.5-3
PV 또는 LCD 적용 분야를 위한 나노-결정질 실리콘의 증착	Ar, He, H ₂ , Si _n H _{2n+2}	400-10000	0.2-20
nc-Si:H 증착의 예시 실시예	Ar, H ₂ , SiH ₄	1000-4000	2.0-8
비정질 실리콘의 증착	Ar, He, H ₂ , Si _n H _{2n+2}	400-10000	0.5-20
a-Si:H 증착의 예시 실시예	Ar, H ₂ , SiH ₄	1000-4000	2.0-6
압축 응력을 갖는 실리콘 산화물의 증착	TEOS, TMCTS, SiH ₄ , O ₂ , N ₂ O, Ar, He,	50-500	0.1-5
고속(>10,000 Å/분)으로의 실리콘 질화물의 등방성 식각	SF ₆ , CF ₄ , CHF ₃ , CH ₃ F, Ar, CH ₂ F ₂ , C ₂ F ₆ , NF ₃ , O ₂ , C ₄ F ₈ , He, N ₂ , NH ₃ , CH ₄ , Cl ₂ , HCl	500-15000	1-20
고속(>7000 Å/분)으로의 실리콘 이산화물의 이방성 식각	SF ₆ , CF ₄ , CHF ₃ , CH ₃ F, Ar, CH ₂ F ₂ , C ₂ F ₆ , NF ₃ , O ₂ , C ₄ F ₈ , He, N ₂ , NH ₃ , CH ₄ , Cl ₂ , HCl	50-300	0.5-5
비정질 탄소 또는 다이아몬드형 탄소 피막의 증착	CH ₄ , C _n H _{2n+2} , C ₆ H ₆ , C _n H ₄ , CF ₄ , C _n H _{2n+2} , H ₂ , Ar, He,	1000-10000	1-20

[0068]

공정 적용 분야	가스	가스, 가스 압력(Pa)	총 가스 유동 (전극의 길의 m 당 표준 리터/분)
실리콘 또는 탄소계 피막의 수소 트리트리먼트 또는 어닐링	H ₂ , Ar, He	300-10000	0.1-2
ZnO의 증착	O ₂ , N ₂ O, Zn(CH ₃) ₂ , He, Ar, H ₂ O, NO ₂ , 디메틸징크-트리메틸아민(DMZTA)	20-2000	1-20
ZnAlO의 증착	O ₂ , N ₂ O, Zn(CH ₃) ₂ , He, Ar, H ₂ O, NO ₂ , Al(CH ₃) ₃ , DMZTA	20-2000	1-20
저온 SiO ₂ 의 증착	TEOS, TMCTS, SiH ₄ , O ₂ , N ₂ O, Ar, He,	100-5000	0.1-2

[0069]

[0070] 전력 공급 전극들 사이의 영역 내에 그리고 각각의 전극과 기관 사이의 영역 내에 증착된 전력 밀도의 범위는 가스 압력 그리고 요구된 특정 적용 분야에 따라 상당한 범위에 걸쳐 변화될 수 있다. PGU 내에서의 주입된 전력 밀도를 평가하는 활성 면적(단위: cm^2)은 대략 전력 공급 전극들 사이의 간극 내의 대면 전극 상에 투영될 때의 면적 그리고 기관 상으로 투영될 때의 전력 공급 전극의 면적의 합계이다. 전력 밀도 파라미터는 위에서 계산된 것과 같은 활성 면적에 의해 RF, VHF, UHF 또는 그 조합의 공급원을 사용하여 PGU로 전달된 총 전력을 나눈으로써 계산된다. 더 높은 압력에 대해, 약 4,000 Pa 위에서, 약 1.0 W/cm^2 내지 약 10 W/cm^2 를 갖는 것이 바람직할 수 있다. 그러나, 약 1,000 Pa 아래의 가스 압력에 대해, 일부 실시예에서 약 3 W/cm^2 미만의 전력 주입을 갖는 것이 바람직할 수 있고, 가스 압력이 약 200 Pa 미만일 때에 약 0.1 W/cm^2 정도로 낮은 전력 주입을 갖는 것이 바람직할 수 있다.

[0071] RF, VHF 또는 UHF 전력 주입을 위한 또 다른 유용한 측정은 가스 압력의 kPa당 플라즈마 체적의 cm^3 당 전력 주입의 밀도이다. 이것은 실질적으로 가스 내의 분자 또는 원자당 전력 입력이다. 약한 음전기 또는 불활성 화학종 지배 플라즈마는 약 0.1 W/cm^3 의 수치에서 안정될 수 있지만, 이러한 수치 훨씬 아래에서 불안정해질 수 있다. 음전기 가스는 안정되도록 더 높은 전력 밀도를 요구한다. 고려되는 처리 적용 분야는 대략 2개의 범주 즉 1차 처리 기구로서 이온 충돌을 사용하는 범주 그리고 단독의 중성 화학종에 거의 배타적으로 의존하는 범주로 나뉜다. 전자의 처리에 대해, 전력 주입의 밀도 [$\text{Dp}(\text{W/cm}^3\text{-kPa})$]는 약 3 내지 100의 범위 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 존재할 수 있다. 라디칼 주도 처리에 대해, Dp 의 범위는 약 0.1 내지 10 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있다. 이들 예시 처리에 대한 전력 밀도 파라미터(Dp)에 대한 전체 범위는 약 0.1 내지 100 또는 그 내에 속하는 임의의 범위이다.

[0072] 도6에 개략적으로 도시된 예시 실시예에서, 기관(들)(601)은 다중의 근접하게 이격된 PGU에 인접하게 이동되고, 각각의 PGU는 도5에 도시된 PGU 실시예와 유사하다. 그 대향측에 인접하게 기관을 지지하는 (중성 전극일 수 있는) 지지 구조물(602)은 일부 실시예에서 가변될 수 있는 인덕터, 커패시터 및 저항기 등의 구성 요소, 또는 다이오드 또는 배리스터 등의 다른 고체 상태 소자로 구성되는 임피던스 요소(610)를 통해 접지되도록 연결될 수 있다. 대체예에서, 지지 구조물은 구성 요소를 통해 직접적으로 접지되도록 연결되지 않을 수 있거나, 약간의 인덕턴스를 갖는 스트랩 또는 스트랩들을 통해 접지될 수 있다. 단순하게 부유 지지 받침대 또는 캐리어와 챔버 벽(들) 등의 거의 접지된 구조물 사이의 커패시턴스에 의해 제공되는 접지부에 수용 가능한 적절한 임피던스가 있을 수 있다. 이러한 구조물은 1개 이상의 전극으로부터 유동되는 RF, VHF 또는 UHF 전류를 위한 애노드(anode)로서 역할을 수행한다. 중성 전극(602)으로부터 접지부로의 전형적인 총 임피던스는 약 1 Ω 내지 약 10 Ω 의 범위 또는 그 내에 속하는 임의의 범위 내에 존재할 수 있다. 일부 실시예에서, 임의의 순간에 대략 반대 전압을 갖는 쌍으로 된 전력 공급 전극은 중성 지지 구조물로의 정미 전류가 어느 한쪽의 전극으로의 전류보다 실질적으로 작도록 대략 동일하고 반대인 RF, VHF 또는 UHF 전류를 지지 구조물로 안내할 것이다. 이러한 방식으로, 지지 구조물 및 기관의 전압은 작게 유지될 수 있지만, 이들은 기관을 이동시키는 기구에 의해 부과되는 제한으로 인해 직접적으로 접지되지 않을 수 있다.

[0073] 다른 가스 주입 위치가 다른 실시예에서 사용될 수 있지만, 도6은 예시 실시예에 따른 다중-PGU 처리 챔버를 위한 초기 주입으로부터 배기까지의 전체 가스 유동의 예시 패턴을 도시하고 있다. 각각의 PGU의 전력 공급 전극(603, 604) 사이의 간극 내로 초기에 주입된 가스는 가스 유동이 각각의 전극과 그 아래에 있는 기관 또는 기관을 위한 캐리어 사이에서 유동되도록 반대 방향으로 방향 전환되는 2개의 스트림으로 분할되는 전극을 통과할 때까지 그 간극 내의 플라즈마 방전부를 통해 기관을 향해 유동된다. 이러한 유동 패턴은 약 1 cm 이하일 수 있는 전력 공급 전극과 기관 사이의 비교적 좁은 간극 그리고 1 mm 내지 2 cm 정도의 반경을 가질 수 있는 전극의 저부 모서리의 라운딩 처리로 인해 재순환 없이 진행된다. 일부 실시예에서, 라운딩 처리는 압력이 약 3000 Pa 내지 약 5000 Pa이고 유동 속도가 PGU 길이의 m당 약 1.0 내지 약 5 s/m일 때에 약 3 mm 내지 6 mm일 수 있다. 가스의 유동은 가스가 인접한 PGU로부터의 가스 스트림과 만나는 곳까지 전극에 의해 통과될 때까지 전극 아래에서 계속되고, 이들 스트림은 결합되어 재차 유동 스트림 내에서 재순환 없이 배기부를 향해 기관으로부터 멀어지게 유동된다. 유동은 그 다음에 전극(604)을 지나 그리고 지지 구조물(605)을 지나 상향으로 계속되고, 챔버 벽(606)에서 방향 전환되고, 여기에서 유동은 벽과 지지 구조물을 위한 고정물 또는 스탠드오프(607) 사이의 배기 포트에 도착하도록 절연성 재료일 수 있는 지지 구조물의 라운딩 처리된 코너 주위에서 재순환 없이 계속하여 유동된다. 이들 실시예에서 실행되는 것과 같은 가스 팽창 냉각 및 재순환을 피하는 것은 어떤 화학적 성질을 사용하여 증착 및 식각 처리의 양쪽 모두 중에 가스 상 내에서의 입자의 형성을 감소시키고, 결과적인 처리를 개선한다. 인접한 PGU의 전극들 사이의 이러한 간극 내에는 플라즈마가 존재할 수 있고, 이것은 이러한 채널의 벽 상에 증착물을 형성하는 경향을 감소시키거나 이러한 증착물이 가스 상 입자를 생성하는 경향을 감소

시킬 것이다.

[0074] 일부 실시예에서, 도7에 개략적으로 도시된 것과 같이, 라이너(702)가 표면(701)을 덮는 데 사용될 수 있고, 그렇지 않으면 처리 가스에 직접적으로 노출될 것이다. 이러한 라이너는 유전성 재료, 전도성 재료 또는 이들 양쪽 모두로 제조될 수 있다. 라이너 두께는 0.1 내지 10 mm일 수 있고, 이 때에 더 전형적인 두께는 1 내지 5 mm이다. 일부 실시예에서, 라이너 두께는 라이닝된 표면을 횡단하는 위치에 따라 변화될 수 있다. 일부 실시예에서, 라이너는 그 영역의 대부분에 걸쳐 전극으로부터 충분히 작은 거리만큼 이격될 수 있고, 그에 의해 플라즈마가 그 작은 공간 내에서 지속되지 않는다. 예시 실시예에서, 그 간극은 가스 압력 및 전력 밀도에 따라 약 0.03 내지 약 5 mm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있고, 전극 상의 위치에 따라 변화될 수 있다. 약 1000 Pa 위의 가스 압력에서, 이러한 간극은 예시 실시예에서 약 1 mm 이하일 수 있다. 이러한 방식으로, 플라즈마로의 전달된 전력 밀도의 공간 분포는 일부 실시예에서 전력 밀도 및 플라즈마 밀도가 더 균일해지게 하는 목표로서 변형될 수 있다. 이러한 라이너는 그 라이너가 플라즈마에 노출되는 영역 내에서 전극 표면과 접촉되는 단지 작은 면적을 가질 수 있다. 예시 실시예에서, 이러한 접촉 면적은 시스 전위 그리고 전달된 전력 밀도 면에서 변화를 최소화하도록 라이너의 두께보다 작은 치수를 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 유전체는 유리, 석영, AlON, 알루미늄 산화물, 실리콘 질화물 또는 다른 이러한 재료일 수 있다. 일부 실시예에서, 라이너는 실리콘, 실리콘 탄화물 등의 전도성 재료 또는 그 표면 깊이가 라이너의 두께와 유사하거나 그보다 큰 이러한 낮은 전기 전도도를 갖는 다른 불량한 전도체로 제조될 수 있다. 라이너는 그 표면이 처리에서 사용되는 가스로부터 발생하는 화학종에 의해 영향을 받는 것을 보호하는 실리콘 이산화물, 알루미늄 산화물 또는 실리콘 등의 얇은 코팅을 또한 가질 수 있다. 이들 라이너는 그렇지 않으면 플라즈마 또는 가스 스트림에 노출될 수 있는 전극의 표면 그리고 지지 구조물의 표면을 덮을 수 있다. 이러한 라이너는 PGU 내의 대향 전극과 대면하거나, 인접한 PGU의 인접한 전극과 대면하거나, 기관(601)과 대면하는 전극 표면 또는 그렇지 않으면 처리 플라즈마 환경에 노출되는 모든 표면을 덮을 수 있다. 이러한 라이너는 일체형 구조물의 일부일 수 있거나, 세그먼트로 구성될 수 있고, 전극의 1개 이상의 측면을 덮는 1개 이상의 층을 가질 수 있다. 이러한 라이너는 전극으로 제공된 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 주파수 전류를 플라즈마로 안내하고, 그에 따라 플라즈마 내로 전류 및 전력을 주입한다. 가스가 전극으로부터 주입되는 실시예에서, 가스는 플라즈마에 도달되도록 이러한 라이너를 통과할 것이 필요하다. 가스의 이러한 안내를 가능케 하기 위해, 라이너 내에는 구멍이 존재할 수 있다. 일부 실시예에서, 라이너는 다공성 재료로 제조될 수 있고, 가스가 플라즈마로 안내될 수 있지만 매우 적은 이온 및 플라즈마가 전극 상으로 직접적으로 떨어지도록 라이너(들) 내에는 구조물 또는 개구가 존재할 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 구조물은 플라즈마로부터 라이너를 통해 전극으로의 임의의 시선을 제거하지만, 경사형 구멍이 또한 충분히 효과적일 수 있다.

[0075] 이러한 라이너는 플라즈마로부터 전극으로 전도되는 열의 양을 감소시키는 것 그리고 또한 뜨거운 표면이 플라즈마 및 처리 환경에 인접하게 존재하게 하는 것을 도울 수 있다. 이러한 뜨거운 표면은 특정 처리에 따라 상당한 처리 이익을 가질 수 있다. 이러한 뜨거운 표면은 플라즈마로부터 증착물을 수용하고, 동시에 전극은 동작 중에 열 팽창 면에서의 부정합과 관련된 문제점을 피하도록 차갑게 유지될 수 있다. 이러한 가열된 표면은 현장 세정 처리에 의해 세정하기 더 용이할 수 있고, 증착된 재료가 박리되게 하여 기관 상의 증착 피막 내로 오염물을 주입하게 할 가능성이 낮다.

[0076] 라이너와 관련된 일부 실시예에 대해, 전극과 기관 사이의 플라즈마 밀도에 대한 전극들 사이의 플라즈마 밀도는 그 영역 내에서 상이한 라이너 간극 또는 두께를 가짐으로써 상당히 변형될 수 있다. 이러한 라이너 간극 및/또는 라이너 두께는 2 이상의 인자만큼 상이하도록 제조될 수 있고, 2개의 영역 내에서 라이너 표면 상에 상당히 상이한 AC 표면 전위를 발생시킨다. 마찬가지로, 이들 영역의 양쪽 모두 내에서의 전력 및 플라즈마 밀도는 전극들 사이의 영역 그리고 이러한 영역 내에서 플라즈마를 갖는 실시예에서의 외부측 경계 형성 표면 내에서의 전력 및 플라즈마 밀도와 상이할 수 있다. 플라즈마의 이들 상이한 영역 내에서의 상대적인 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 전력 밀도는 또한 전극과 라이너 사이의 상대적인 라이너 두께 또는 간극 크기를 변화시킴으로써 변화된다. 유전체 성질을 갖는 라이너(들)가 사용되는 실시예에서, 이들은 외부 플라즈마-경계 형성 표면이 되고, 라이너 두께는 상대적인 전력 밀도를 조정하는 데 사용될 수 있다. 이러한 유전성 라이너는 석영 등의 유전체, 또는 실리콘 또는 실리콘 탄화물 등의 재료를 포함하는 재료로 제조될 수 있다. 서로와 대면하는 전극의 측면을 덮는 라이너의 그 부분을 더 두껍게 제조하고 기관과 대면하는 측면을 덮는 그 부분을 더 얇게 제조함으로써, 기관에 인접한 영역 내에서의 상대적인 전력 밀도 및 플라즈마 밀도가 증가될 수 있다. 예컨대, 석영 라이너는 대향 전극과 대면하는 영역 내에서 2 mm의 두께를 가질 수 있고, 기관과 대면하는 영역 내에서 1 mm의 두께를 가질 수 있다. 라이너 두께의 이러한 변화량은 전극들 사이의 간극이 전극과 기관 사이의 간극과 동일

할 때에도 전극들 사이의 전력 밀도에 비해 기관에 인접한 전력 밀도를 상당히 증가시킬 수 있다.

[0077]

도8은 일부 실시예에서 전극 내에 있을 수 있는 가스 주입 매니폴드 구조물(811)을 개략적으로 도시하고 있다. 이러한 매니폴드로부터 주입된 가스는 불활성 가스 및/또는 수소, 할로젠, 실리콘, 게르마늄 또는 도펀트 함유 가스 등의 처리 가스 중 어느 한쪽을 포함할 수 있다. 이러한 가스 주입 매니폴드는 또한 다른 실시예에서 분할기 내에서 사용될 수 있다. 도8에 도시된 예시 실시예는 전극 저부 표면의 폭을 횡단하여 분포 및 가스 혼합물을 제어하는 선택권을 포함한다. 도8에 개략적으로 도시된 실시예에서, 가스는 우선 별도로 제어되는 공급부(801, 802)로부터 지지 구조물 및 실제 전극 또는 분할기를 통과하는 덕트(803, 804)에 의해 전극 내의 상부 저장조(805, 806)로 유입된다. 이들 채널은 전형적으로 전극의 거의 전체 길이만큼 연장되고, 하부 저장조(807)에 연결된다. 일부 실시예에서, 채널은 하부 저장조(807)에 대한 전달력보다 그 길이를 따라 훨씬 높은 전달력을 갖고, 그에 의해 가스가 하부 저장조의 구멍이 가스를 비우는 것보다 훨씬 빠르게 상부 저장조(806)를 효과적으로 충전한다. 하부 저장조가 또한 전형적으로 플라즈마의 거의 전체 길이를 따라 고르게 가스를 제공할 수 있도록 전극 또는 분할기의 거의 전체 길이를 따라 연장된다. 이러한 방식으로, 각각의 상부 저장조로부터 하부 저장조로 전달된 혼합물은 저장조의 길이를 따라 거의 정확하게 동일하다. 하부 저장조는 전력 저장 전극과 기관 사이의 플라즈마의 체적부(809) 내로 이러한 가스를 분배하는 작은 구멍(808) 그리고 전극들 사이의 공간으로 연결되는 가스 주입을 위한 유사한 구멍(813)을 갖는다. 전극 내의 하부 저장조는 기관 운동에 평행한 방향으로의 가스 전달을 감소시키는 배플 또는 유동 제한기(817)를 가질 수 있다. 이러한 방식으로, 1차 저장조(805, 806) 내로 주입된 가스는 2개의 1차 저장조로부터의 상대적인 거리에 따라 그리고 2개의 상부 저장조의 가스의 총 유동에 따라 비례적으로 혼합될 것이다. 예컨대 구멍(813)을 통해 방출되는 가스는 상부 저장조(806)를 충전하는 공급부(802)로부터의 가스의 최소 확산으로 인해 1차 저장조(805)를 거쳐 가스 공급부(801)로부터 실질적으로 전체적으로 방출될 것이다. 이러한 방식으로, 저장조(805)로부터 증가된 거리에서 구멍의 열로부터 유동되는 가스 혼합물은 1차 저장조(805)로부터의 감소된 비율의 가스를 가질 것이다. 이러한 작은 구멍은 저장조의 거의 전체 폭에 걸쳐 어떤 방식으로 분포될 수 있고, 그에 의해 전극의 폭의 상당한 비율에 걸쳐 플라즈마 내로 가스를 유입시킨다. 일부 실시예에서, 가스가 또한 이러한 저장조로부터 전극들 사이의 체적부(812) 내로 주입될 수 있다. 이러한 가스는 부분적으로 별개의 가스 공급부(814)로부터 입력 채널을 거쳐 절연 지지부 내의 저장조(815)로 방출될 수 있고, 그에 따라 작은 구멍(816)을 통해 전극들(812) 사이의 플라즈마 내로 주입될 수 있다. 기관은 이전에 설명된 수단에 의해 접지부에 연결될 수 있는 중성 전극일 수 있는 지지부(810)에 의해 지지된다. 상부 저장조는 일부 실시예에서 구멍, 좁은 채널 또는 배플을 통해 그 대향측 근처에서 하부 저장조에 연결될 수 있다. 하부 저장조는 일부 실시예에서 연결된 체적부일 수 있고, 일부 실시예에서 2개의 상부 저장조로부터의 가스가 하부 저장조의 상이한 섹션 또는 영역 내에서 가변 비례 관계로 혼합될 수 있도록 채널이 이들 사이에 있는 상태로 전극의 길이만큼 연장될 수 있는 섹션으로 분할될 수 있다. 일부 실시예에서, 상부 저장조(805, 806) 내로 주입된 가스는 이들 저장조의 길이를 따라 유동되고, 이 때에 가스는 하부 저장조(807)의 인접한 부분 내로 더 느리게 유동된다. 2개의 상부 저장조로부터의 가스는 그 다음에 위치에 따라 변화되는 비율 구체적으로 하부 저장조의 그리고 전극의 폭 치수의 방향으로 거의 배타적으로 변화되는 비율로 그 하부 저장조 내에서 혼합된다. 작은 구멍(808) 중 임의의 구멍에서 혼합물 내에 있는 2개의 상부 채널로부터의 가스의 비율과 관계없이 이것은 그 구멍에 의해 플라즈마로 전달된 혼합물일 것이다. 이러한 방식으로, 2개의 상부 채널로부터의 상대적인 가스 전달력에 따라 변화되는 각각의 상부 저장조로부터의 가스의 비율을 갖는 혼합물인 가스가 플라즈마로 전달될 것이다. 이러한 방식으로, 플라즈마로 전달된 가스 혼합물은 전극의 길이를 따라 거의 정확하게 일정해질 수 있고, 그에 의해 처리는 전극의 길이를 따라 속도 및 성질 면에서 실질적으로 일정하다.

[0078]

도9는 접지 전극(901) 및 전력 공급 전극(902)을 포함하는 PGU의 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 플라즈마(903)가 전력 공급 전극으로의 AC 전위의 인가에 의해 전력 공급 전극과 접지 전극 사이에서 발생되고, 플라즈마(904)가 전력 공급 전극과 기관 사이에서 발생된다. 이러한 플라즈마는 주로 전력 밀도 면에서 독립적이고, 각각의 플라즈마는 전력 공급 전극과 대향 표면 사이의 간극 그리고 간극을 횡단하는 상대적인 AC 전위에 의존한다. 더 큰 간극은 플라즈마의 전기 저항을 증가시키고 그에 의해 이러한 간극을 횡단하여 흐르는 전류 밀도를 감소시킨다. 그러므로, 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극 대 전극들 사이의 간극의 상대적인 크기는 플라즈마 영역의 각각 내에서 실제로 증착되는 전력 공급 전극으로 공급된 전력의 비율을 부분적으로 결정할 것이다. 상이한 플라즈마 영역으로 공급된 전력의 비율은 또한 상이한 두께를 갖는 유전성 라이너 그리고 기관과 대면하는 영역 대 접지 전극과 대면하는 영역을 위한 라이너에 대한 간극의 사용에 의해 변화될 수 있다. 중성 전극으로부터 접지부로의 임피던스(905)가 또한 전력 공급 전극으로부터 방출되어 접지 전극으로 또는 기관으로 전달되는 RF, VHF, UHF 또는 극초단파 전류의 분할에 영향을 미칠 것이다. 중성 전극의 접지부에 대한 임피던스

스가 높으면, 이것은 더 많은 전류가 접지 전극 대 기관으로 흐르게 할 것이고, 그에 의해 전극들 사이의 영역 내의 더 밀집한 플라즈마(903) 대 인접한 기관(904)에서의 더 밀집한 플라즈마(904)를 발생시킨다. 일부 실시예에서, 접지 전극(901)의 일부는 플라즈마가 접지 전극과 기관 사이의 간극 내에서 형성될 가능성이 낮도록 석영 또는 세라믹 등의 유전성 재료일 수 있다. 예시 실시예에서, 접지 전극의 팁과 기관 사이의 간극은 0.1 내지 5 mm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 간극은 약 0.5 mm 미만일 수 있다. 일부 실시예에서 접지 전극의 저부로부터의 불활성 가스의 주입 그리고 또한 전력 공급 전극 내의 매니폴드로부터의 가스의 주입이 존재할 수 있다.

[0079] 도10에 개략적으로 도시된 예시 실시예에서, 다중의 근접하게 이격된 PGU가 있고, 각각의 PGU는 도9에 도시된 PGU 실시예와 유사하다. 가스 유동은 이러한 실시예에서 기관 표면을 향한 방향으로 전극(1006, 1007) 사이의 영역(또는 간극)(1001) 내에서 시작되고, 그 다음에 예시 실시예에서 가스의 대부분이 약 5 mm 내지 10 mm일 수 있는 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극(1002) 내에서 유동되도록 전력 공급 전극(1007)을 통과할 때 방향 전환된다. 이것은 접지 전극 아래에서 유동을 제한하는 접지 전극(1006)의 팁과 기관(1009) 사이의 훨씬 작은 간극(1008)에 기인한다. 유동은 그 다음에 전력 공급 전극 아래를 통과한 후에 재차 방향 전환되고, 배기부를 향해 영역(또는 간극)(1003) 내에서 기관 표면으로부터 멀어지게 전력 공급 전극의 표면을 따라 유동된다. 도시된 PGU의 양쪽 측면 상에 유사한 PGU가 존재하는 실시예에서, 전력 공급 전극에 인접한 상향 유동은 전력 공급 전극과 우측 상의 인접한 PGU의 접지 전극 사이에 존재한다. 이러한 경우에, 인접한 PGU 사이의 간극이 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극(1002)과 유사하면, 간극(1003) 내에서 또한 플라즈마가 발생할 것이고, 이것은 유사한 전력 밀도를 가질 것이다. 일부 실시예에서, 도시된 PGU와 그 우측 상의 PGU 사이의 간극은 전력 공급 전극과 그 좌측 상의 접지 전극 사이의 간극(1001)보다 약간 클 것이다. 이러한 실시예에서, 전력 공급 전극의 우측 상의 간극(1003) 내에서의 전력 밀도는 간극(1001, 1002) 내에서의 전력 밀도보다 작을 수 있다. 이러한 경우에, 기관으로부터 멀어지게 유동되는 가스는 그 유동의 더 초기 상태에서보다 낮은 전력 밀도를 갖는 플라즈마를 통해 이동될 수 있다. 이러한 전력 밀도는 일부 실시예에서 기관에 대한 간극 내에서의 전력 밀도의 약 1/5 이상일 수 있다. 전극(1007) 및 지지부(1005)를 지나 유동된 후에, 가스는 지지부(1005) 위의 채널(또는 영역)(1004)에 도달된다. 이러한 채널은 챔버로부터 배기 포트에 연결되고, 그 내에 플라즈마를 또한 가질 수 있다. 일부 실시예에서, 보조 전원이 영역(1004) 내에서 플라즈마를 지속시키도록 전력을 제공할 수 있거나, 전극으로부터 지지 구조물을 통한 결합이 그렇게 하는 데 충분할 수 있다. 이와 같이, 가스의 유동은 도 10에 도시된 것과 같은 실시예에서 기본적으로 화살표에 의해 도시된 것과 같은 회로 내에 있고, 즉 전력 공급 전극 그리고 그 다음에 지지부 그리고 챔버의 외부로 수행된다. 식각 가스가 또한 펌핑 매니폴드 또는 밸브 내에서의 응결이 피해될 수 있도록 증착 화학종이 강력한 휘발성 화학종으로 변환될 수 있게 배기부 근처에서 그러나 챔버 내부측에서 유입될 수 있다. 기관 표면에 인접한 유동은 실질적으로 단방향으로 진행되고, 이것은 일부 실시예에서 기관의 이동과 동일한 방향으로 진행될 수 있다. 도시된 것과 같은 가스 유동은 가스가 하나의 영역으로부터 또 다른 영역으로 유동됨에 따라 벌크 가스 유동 면에서 재순환 패턴이 없도록 약 1 내지 10 mm의 곡률 반경을 갖게 전극(1007) 및 지지 구조물(1005)의 라운딩 처리된 모서리 주위에서 이동된다. 나아가, 일부 실시예에 대해, 가스가 하나의 영역으로부터 다음의 영역으로 유동될 때의 간극 치수 면에서의 변화로 인한 단면적 면에서의 임의의 변화는 바람직하게는 2 미만의 인자만큼 유지되어야 한다. 이것은 팽창으로 인한 가스 냉각 및 입자 성장을 감소시키는 것을 돕는다. 높은 가스 온도를 유지하는 것은 입자 성장 및 기관 오염을 감소시키는 것을 돕는다.

[0080] 위에서 설명된 예시 실시예에서, 전극 및 분할기의 단면 형상은 요소들 사이의 간극 그리고 기관 표면과 대면하는 영역의 양쪽 모두에서 실질적으로 평면형 표면을 갖는다. 추가의 실시예는 다른 형상을 채용할 수 있다. 도11은 곡선형 단면 형상을 갖는 전극을 이용하는 예시 실시예를 개략적으로 도시하고 있다. 곡선형 전극(1101, 1102)의 형상은 전극(1101, 1102)과 기관(1105) 사이의 간극이 최소인 작은 영역(1103, 1104) 내로 플라즈마에서 증착되는 전력을 집중시킴으로써 일부 처리로부터 추가의 이익을 추가할 수 있다. 한편, 라운딩 처리된 형상은 가스 유동 경로 내에서 재순환을 방지하는 이익을 보유할 수 있다.

[0081] 다른 실시예는 PGU에 대해 다른 형상을 사용할 수 있다. 그러나, 다른 형상을 사용하는 예시 실시예는 길이에 비해 작은 전극 폭 및 높이 치수; PGU 내의 전극 및 분할기의 대면 표면들 사이의 작은 간극; 전력 공급 전극에 인접한 영역 내에서의 별도로 제어 가능한 플라즈마 전력 밀도; 그리고 가스 재순환을 방지하도록 구성되는 전극 형상 및 간극을 포함하는 위에서 설명된 특징들 중 일부 또는 모두를 여전히 유지할 수 있다.

[0082] 도12는 라이너가 플라즈마와 접촉되는 전극의 표면을 덮는 데 사용되는 예시 실시예에서 찾아볼 수 있는 것과 같은 전극 및 라이너 간격 그리고 기관 지지부의 외관을 도시하고 있다. 전도성 재료로 제조되는 전극(1201)은

일부 실시예에서 석영 등의 유전성 재료인 라이너(1203) 사이의 작은 거리(1204)에 의해 분리된다. 이러한 라이너는 전극(들)로부터 플라즈마 내로의 주입을 가능케 하도록 가스 투과성일 수 있다. 예시의 라이너 두께는 약 1 mm 내지 약 5 mm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있고, 이러한 라이너 두께는 다른 전극 또는 분할기와 대면하는 측면에 대한 그 두께와 기관과 대면하는 측면에 대해 상이할 수 있다. 플라즈마는 전형적으로 단지 전극들 사이의 간극(1204, 1205) 내에서 형성되고, 전극과 인접한 라이너 사이의 작은 간극(1202) 내에서 형성되지 않는다. 예시 실시예에서, 플라즈마의 형성을 피하는 최대 허용 가능한 전극-라이너 간극(1202)은 주로 가스 압력 그리고 플라즈마 내로 국부적으로 주입된 전력 밀도에 의존한다. 약 0.1 kPa 아래의 가스 압력에서 그리고 1 W/cm² 아래의 전력 밀도에서, 간극(1202)은 그 내에서 플라즈마를 유발하지 않으면서 심지어 2 내지 5 mm 정도로 클 수 있지만, 이것은 전극과 라이너의 외부 표면 사이에서의 큰 전압 강하로 인해 실용적이지 못할 수 있다. 약 1 kPa 위의 더 높은 가스 압력은 그 내에서 플라즈마를 지속시키는 것을 피하도록 특히 1 W/cm² 이상의 전력 수준에서 1 mm 미만의 간극을 요구할 수 있다. 약 3 kPa 위의 압력은 0.5 mm 미만의 전극-라이너 간극을 요구할 수 있다. 개시된 장치에서, 이러한 간극은 플라즈마와 전극 사이에서의 요구된 단열을 제공하고 일부 실시예에서 그 표면에 걸쳐 모든 곳에서 100°C 위까지 라이너의 온도를 상승시키도록 약 0.05 mm 미만일 수 있다. 이것은 또한 약 100°C 초과까지 플라즈마 영역(1204) 내의 최소 가스 온도를 상승시키는 역할을 수행한다. 이러한 더 높은 가스 온도는 플라즈마 영역 내에서 가스 상 나노-입자의 성장을 피하는 데 특히 도움이 되는 경향을 갖고, 실리콘 또는 실리콘계 피막을 성장시킬 때에 결함을 감소시키는 것을 돕는다. 라이너의 외부 표면과 기관 사이의 간극(1205)은 약 5 mm 내지 20 mm일 수 있지만, 더 전형적으로 약 1000 Pa 위의 가스 압력에서, 기관에 대한 간극은 약 15 mm 이하이다. 처리 압력이 약 5 kPa 위에 있을 수 있는 일부 실시예에서, 라이너 표면으로부터 기관까지의 최대 간극은 약 10 mm 미만일 수 있다. 대면 라이너 표면들 사이의 간극(1202)은 전형적으로 라이너와 기관 사이의 간극과 대략 동일한 범위 내에 있지만, 일부 실시예에서, 가스를 위한 유동 채널의 단면적 면에서의 급속한 팽창을 피하는 구속 조건으로 인해 약간 더 클 수 있다.

[0083] 기관(1206)은 일부 실시예에서 양호한 전기 전도체인 캐리어(1207) 상에 놓일 수 있고, 이러한 캐리어는 결국 접지부에 대해 작은 복합 임피던스(1210)를 갖는 받침대 또는 지지 구조물 상에 직접적으로 또는 그에 대해 작은 간극(1208)을 갖는 상태로 놓일 수 있다. 이러한 임피던스의 크기는 많은 실시예에서 캐리어로부터의 플라즈마 방전을 피하도록 약 10 Ω 미만일 수 있다. 작은 간극(1208)은 지지부(1209)에 대해 캐리어를 이동시키는 운반 시스템과 관련될 수 있다. 이러한 경우에, 캐리어와 지지부 사이의 커패시턴스는 매우 높을 수 있고, 그에 의해 RF, VHF 또는 UHF 전류가 PGU의 전력 공급 전극으로부터 캐리어로 전도될 때에 캐리어 상에서의 전위의 축적을 감소시킨다. 특히, 기관이 PGU에 대해 이동되는 경우에, 기관 캐리어 상에서 양호한 전기 접지부를 제공하는 것이 어려울 수 있지만, 수 mm 미만일 수 있는 매우 작은 간극(1208)이 접지부에 대한 높은 커패시턴스 그리고 낮은 RF, VHF 또는 UHF 임피던스를 발생시킬 것이다. 전극(1201)의 AC 전위가 대략 동일하고 반대이면, 기관 또는 캐리어에 대한 정미 용량성 전류가 최소화될 것이고, 캐리어 또는 기관의 전위가 최소화될 것이다.

[0084] 다른 실시예에서, 기관 지지부 및/또는 기관을 위한 캐리어에 제공되는 AC 전력이 있을 수 있다. 이러한 경우에, 기관의 추가의 이온 충돌이 있을 수 있고, 이것은 일부 적용 분야에서 유리하다.

[0085] 일부 실시예에서, 보편적으로 높은 가스 온도 또는 전극 가열의 회피는 중요하지 않을 수 있고, 그에 따라 전극 상의 라이너가 일부 실시예에서 사용되지 않을 수 있다. 이들 경우 중 많은 경우에, 라이너 표면들 사이의 간극 또는 라이너 표면으로부터 기관까지의 간극에 대해 위에서 언급된 제한은 라이너가 없으면 전극의 대면 표면들 사이 또는 전극 표면과 기관 사이의 간극에 동일하게 적용될 것이다. 이러한 간극의 양쪽 모두는 예시 실시예에서 약 5 내지 20 mm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있다.

[0086] 위에서 설명된 예시 실시예에 대한 하나의 예시 적용 분야가 광전지를 위한 나노-결정질 실리콘(nc-Si:H)의 박막의 증착이다. 이러한 전지를 제조하는 비용을 감소시키고 광 대 전기 에너지의 변환을 위한 더 높은 효율을 제공하는 것이 바람직하다. 이러한 요건을 충족시키기 위해, 실리콘 내에서의 결함 수준은 약 $2 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 이하일 것이 필요하다. 결국, 이러한 결함 수준을 갖는 실리콘의 박막의 증착은 전체 기관을 횡단하는 우수한 균일성으로써 성취될 수 있고, 13% 이상의 광전지 효율이 상이한 흡수 밴드를 갖는 다중 흡수 층을 갖는 전지에서 성취될 수 있다.

[0087] 일부 경우에, 증착된 나노-결정질 실리콘 내에서의 높은 결함 수준의 원인은 성장 피막 내로의 대량의 균집된 마이크로스케일 실리콘 입자의 함체에 부분적으로 기인할 수 있다. 가스 온도가 높은 일부 플라즈마 반응기에서, 작은 실리콘 입자의 성장 속도가 훨씬 작을 수 있다. 그러나, "샤워헤드(showerhead)" 또는 다른 주입기를 이용하는 nc-Si:H를 위한 증착 시스템은 일부 반응기에서 약 60°C 이하일 수 있는 비교적 차가운 표면을 가질

수 있다. 이것은 가스가 결국 피막 내로 합체되는 입자를 위한 더 높은 형성 속도를 갖게 할 수 있고, 결국 감소된 광전지 효율을 발생시킨다. 본 발명의 예시 실시예에서, 플라즈마와 접촉되는 표면의 동작 온도는 냉각된 전극으로의 열 전도를 감소시키도록 전극 표면으로부터 이격되는 전극을 덮는 뜨거운 라이너를 사용함으로써 100°C 이상에서 유지될 수 있다. 플라즈마에 인접한 뜨거운 표면을 제공함으로써, 뜨거운 가스 온도가 플라즈마 영역 전체에 걸쳐 지속될 수 있다. 가스 상 입자 성장이 감소되기 때문에, 예시 실시예는 증착된 피막 내에서 낮은 결함 수준을 유지하면서 높은 전력 밀도에서 동작될 수 있고 더 높은 증착 속도를 성취할 수 있다. 예컨대, 증착 속도는 일부 실시예에서 4 nm/초를 초과할 수 있다. 다른 실시예는 가스 상 내에서의 입자 성장을 감소시키고 그에 따라 PV 효율을 개선하도록 플라즈마에 인접한 표면에 대해 100°C 이상에서 온도를 유지하는데 다른 구성을 사용할 수 있다.

[0088] 도4a-도4i에 도시된 것과 같은 일부 실시예에서 기관 지지부는 중성 전극일 수 있고, 반면에 다른 실시예에서 전력이 기관 지지부 및/또는 기관을 위한 캐리어에 제공될 수 있다. 이러한 경우에, 기관의 추가의 이온 충돌이 있을 수 있고, 이것은 일부 적용 분야에서 유리하다. 일부 실시예에서, 기관 상에서의 dc 또는 낮은 주파수의 바이어스의 사용이 실리콘의 결함 수준을 감소시키는 데 또는 증착된 피막의 밀도를 증가시키는 데 유용할 수 있다.

[0089] 일부 실시예에서, 작은 간극이 전력 공급 전극과 기관 사이에서 유지될 수 있다. 예시 실시예에서, 이러한 간극은 약 5 mm 내지 15 mm 또는 그 내에 속하는 임의의 범위일 수 있다. 증착된 피막 내에서의 불균일성을 피하도록 전극과 기관 사이의 간극을 정확하게 제어하는 것이 중요하기 때문에, 전극에 대한 요구된 간극에서 기관을 유지하는 PGU 근처의 정렬부 또는 한 쌍의 평행 판 전극을 채용하는 것이 유용할 수 있다. 증착된 피막의 품질에 악영향을 미치지 않으면서 기관-대-전극 간격을 제어하도록 처리 영역 전후의 양쪽 모두에 기관의 경로를 따라 전형적으로 기관의 길이보다 훨씬 작은 규칙적인 간격으로 정렬부를 갖는 것이 유용할 수 있다. 이러한 정렬부는 PGU로부터 분리될 수 있지만, 도4h 또는 도4j에 도시된 것과 같이 운동의 방향에 직각으로 기관의 폭을 횡단하고 가스의 유동을 제공할 때에 분할기 또는 접지 전극과 같이 길 수 있다. 기관에 인접한 단부로부터의 가스 유동은 기관이 정렬부의 근접 표면과 접촉되는 것을 방지한다. 대체예에서, 정렬부는 강성이거나 굽혀질 수 있는 능력을 가질 수 있는 1개 이상의 "암(arm)"을 가질 수 있고, 각각의 정렬부는 단부에서 충분히 큰 즉 대개 약 5 cm² 초과를 표면적을 갖고 불활성 가스의 공급원으로서 그 표면 내에 벤트(vent)를 갖는 1개 이상의 격리 패드를 가질 수 있다. 이러한 암 및 패드는 기관이 요구된 거리에서 전극 또는 PGU를 통해 이동되게 하도록 기관 운동의 평면 위에서 및/또는 아래에서 전형적으로 약 2 mm 미만의 작은 거리에서 구성 및 위치된다. 펌핑을 수행하지 않는 가스의 공급원인 정렬부는 처리가 일어나는 기관의 측면에 인접하거나 기관의 양쪽 측면에 인접할 수 있다. 정렬부는 "가스 베어링"으로서 효과적으로 작용하도록 패드 내에 진공 구멍을 또한 가질 수 있지만, 이러한 낮은 압력 환경에서는 더 큰 패드 영역이 도움이 된다.

[0090] 예시 실시예에서, 다음의 특징들 중 일부 또는 모두(또는 그 임의의 조합)를 포함하는 광전지의 일부를 형성하도록 실리콘 층을 증착하는 방법이 제공될 수 있다. 즉,

[0091] · 적어도 3개의 세트의 PGU를 제공하는 단계로서, 제1 세트는 적어도 1개의 PGU를 포함하고, 제3 세트는 적어도 1개의 PGU를 포함하는, 단계와;

[0092] · 제2 세트는 제1 및 제3 세트 사이에 있고, 제1 및 제3 세트 내의 PGU의 개수보다 큰 다수개의 PGU를 포함하고;

[0093] · 3개의 세트의 PGU 아래에서 선형으로 기관을 이동시키는 단계와;

[0094] · 제1 세트의 PGU를 사용하여 도핑된 실리콘의 제1 층을 증착하는 단계로서, 실리콘은 제1 타입의 도핑을 갖는, 단계와;

[0095] · 제2 세트의 PGU를 사용하여 제1 도핑 층 위에 진성 실리콘의 제2 층을 증착하는 단계로서, 제2 층은 제1 층보다 두꺼운, 단계와;

[0096] · 제3 세트의 PGU를 사용하여 제2 층 위에 도핑된 실리콘의 제3 층을 증착하는 단계로서, 제3 층은 제2 타입의 도핑을 갖는, 단계.

[0097] 하나의 예시 적용 분야가 광전지 소자를 위한 실리콘계 피막의 다중 층의 증착이다. 이러한 예에서, 도핑된 층이 우선 증착될 수 있고, 그 다음에 진성 흡수 층이 증착될 수 있고, 마지막으로 또 다른 상보적으로 도핑된 층이 증착될 수 있다. 예시 실시예는 동일한 챔버 내에서 그리고 심지어 동일한 챔버 내에서 동시에 순차적으로

모든 3개의 층의 증착에 사용될 수 있다.

- [0098] 예시 실시예에서, 컨베이어, 웹 또는 다른 가동 운반부 또는 캐리어가 PGU 아래에서 기판을 이동시키는 데 사용될 수 있다. 이러한 운동은 종종 선형이지만, 연속 밴드 기판을 위해 곡선형일 수 있다. 이러한 기판은 실린더의 일부일 수 있는 세그먼트를 그리도록 경로 내에서 이동될 수 있다.
- [0099] 예시 실시예에서, 도3-도12에서의 단면도에 도시된 것과 같이, PGU는 이웃 PGU의 인접한 요소의 긴 측면이 대략 평행하고 기판 운동의 방향을 따라 좁게 이격되도록 배열될 수 있다. 전극의 단면은 동일한 도면에 도시된 것과 같이 예시 실시예에서 대략 직사각형일 수 있다.
- [0100] 이들 예시 실시예에서, 각각의 PGU는 그 PGU의 요소에 인접한 체적부 내에서 플라즈마를 발생시킬 수 있다. 이러한 영역 내의 플라즈마는 이러한 PGU의 AC 전력 공급 전극에 제공되는 전력으로써 실질적으로 제어 가능하다. 일부 예에서, 이러한 전극은 RF 또는 심지어 VHF 밴드 등의 여기 주파수에 있을 수 있고, 주로 변위 전류 즉 용량성 결합을 통해 플라즈마 내로 그 전력을 결합시킬 수 있다. 일부 예에서, PGU로부터 플라즈마 내로의 전력의 결합은 PGU의 일부 요소가 코일의 1회 이상의 권선부를 포함하는 경우에 주로 유도성일 수 있다. 일부 예에서, 전력은 UHF 또는 극초단파 밴드 내에 있고, 플라즈마 내로의 전력의 결합은 그 성격 면에서 유도성 및 용량성의 양쪽 모두인 표면파로서 수행될 수 있다. 예시 실시예에서, 이러한 영역 내에서의 처리는 실질적으로 PGU를 거쳐 주입된 전력에 의해 발생하는 플라즈마의 생성물일 수 있다. 다른 PGU가 다른 실시예에서 사용될 수 있다.
- [0101] 도13에서, 단일 챔버 내에 다중의 인접한 PGU를 갖는 예시 실시예가 도시되어 있고, 여기에서 별도로 제어 가능한 가스 또는 가스의 혼합물이 챔버 내에서 각각 가스 공급 시스템(1321 내지 1325)로부터 PGU(1301 내지 1305)로 공급되고, 그에 의해 상이한 처리가 상이한 PGU 또는 PGU의 그룹에 의해 기판 상에 챔버 내에서 동시에 수행되게 한다. 일부 실시예에서, PGU(1301, 1302)에 의해 수행되는 처리는 각각 별도로 제어 가능한 가스 또는 가스의 혼합물(1321, 1322)을 사용하여 기판 상에서 실질적으로 동일할 수 있고, 이들 가스 또는 가스의 혼합물은 이러한 실시예에서 유사 또는 동일하다. 일부 실시예에서, 이들 2개로의 가스 혼합물은 동일한 성분을 함유할 수 있지만, 비율이 약간 상이할 수 있고, 그에 의해 단지 처리의 속도가 이들 2개 사이에서 상이하게 한다. 이들 실시예에서, PGU(1303)는 플라즈마를 생성시키도록 AC 전력을 이용할 수 있거나 이용하지 않을 수 있지만, 어떠한 처리도 이러한 PGU의 영역 내에서 기판 상에 수행되지 않게 하는 단지 불활성 가스의 유동을 사용한다. 그러나, 가스가 각각의 PGU 내에 주입되고 그 동일한 PGU 내의 또는 그에 인접한 배기 포트를 거쳐 제거되기 때문에, 이러한 불활성 가스의 영역은 PGU(1301, 1302) 내의 가스 화학종으로부터 PGU(1304, 1305) 내에서의 처리를 격리하는 역할 그리고 그 반대로 격리하는 역할을 수행할 수 있다. 예컨대, 가스 공급부(1321)로부터 PGU(1301) 내로 주입된 가스가 포트(1331 및/또는 1332)를 거쳐 배기될 수 있고, 공급부(1324)로부터 PGU(1304)로 주입된 가스가 포트(1334 및/또는 1335)를 거쳐 배기될 수 있다.
- [0102] 하나의 예는 PGU(1301, 1302)가 상당히 인으로 도핑된 실리콘 층을 증착하고 PGU(1304, 1305)가 도핑되지 않은 진성 실리콘 층을 증착하는 경우이다. 이러한 예에서, PGU(1303) 내에서의 가스 유동의 일부의 방향은 PGU(1302)로부터 PGU(1304)로의 인 함유 가스 화학종의 임의의 유동 또는 확산을 저지하도록 PGU(1301, 1302)를 향해 그리고 PGU(1304, 1305)로부터 멀어지게 우측으로부터 좌측으로 향할 수 있다. 또 다른 예에서, PGU(1301, 1302) 내에서 불소 함유 화학종을 사용하여 식각이 있을 수 있고, 한편 PGU(1304, 1305) 내에서 증착 처리가 있다.
- [0103] 예시 실시예에서, 챔버 내로 진입되는 기판(1311)에는 기판(1311)의 표면에 걸쳐 주입기로 공급되는 세정 가스(1326)의 유동이 가해질 수 있고, 한편 기판에는 챔버로부터 배출되기 전에 잠재적으로 상이한 가스(1327)가 가해질 수 있다. 이러한 세정 가스는 PGU 외부측 주위의 다른 가스와 함께 배기 포트(1313)에 의해 펌핑될 수 있다. 각각의 PGU 내에 제공된 가스를 위한 배기부(1328)는 분리형일 수 있다. 이들은 공통 진공 펌프로 유동될 수 있지만, 예시 실시예에서, 이들은 하나의 배기 덕트로부터 방출된 화학종이 임의의 다른 처리 영역 내로 재차 확산되지 않게 한다.
- [0104] 도14에는 2개 이상의 PGU(1401, 1402)의 요소를 갖는 예시 챔버의 단면도가 도시되어 있고, 이러한 챔버는 PGU로부터 지지부까지의 매우 작고 제어된 간극(1404)을 유지하는 큰 기판(1403)을 위한 공통 지지부(1405)를 갖는다. 기판 지지부는 간극(1404) 내로 가스를 유입시키도록 약 1 mm 미만의 적어도 1개의 치수를 갖는 기판 지지부 표면에서의 구멍 내에서 종료되는 가스의 공급부(1407)에 연결되는 내부 채널(1405)을 갖는다. 또한 기판 지지부의 표면 상의 구멍 내에서 종료되는 진공 펌프(1408) 또는 다른 배기부에 연결되는 기판 지지부 내에 있는 다른 채널(1406)이 있다.

- [0105] 도15에는 가스 주입 및 배기를 위한 선형 구멍을 갖는 기관 지지 받침대를 위한 예시 실시예가 도시되어 있다. 채널(1503)의 네트워크로부터 주입되는 가스 에 의해 받침대(1502) 상에서 지지되는 기관(1501)이 도시되어 있다. 채널(1503)로부터의 가스는 높이 "d"를 갖는 기관과 지지부 사이의 공간 내로 주입된다. 가스 주입은 높이 "d"를 갖는 공간 내로 가스를 분배하는 작은 배플(1505) 주위에서 수행된다. 가스 주입을 위한 구멍은 폭 면에서 약 1 mm 미만이지만, 지지부와 기관 사이의 공간 내로 약간 균일하게 가스를 제공할 정도로 충분히 길다. 마찬가지로, 가스는 이러한 실시예에서 배플(1506)에 의해 덮인 더 큰 채널(1504)을 통해 기관과 지지부 사이의 이러한 공간으로부터 배기된다. 배플은 지지 표면 상의 구멍이 길도록 길지만, 약 1 mm 정도로 좁고, 이것은 기관과 지지부 사이의 공간으로부터 가스를 배기할 정도로 충분한 펌핑 속도를 제공한다. 이러한 작은 구멍을 유지하고 1 mm 미만으로 간극(d)을 유지함으로써, 기관과 지지부 사이의 공간 내의 가스가 PGU로부터의 전기장으로 인해 플라즈마를 형성하는 것이 방지된다.
- [0106] 도16은 PGU로부터 방출되는 전기장이 기관과 지지부 사이의 공간으로부터 가스를 배기할 때에 양호한 전달을 가능케 할 정도로 충분히 큰 채널(1603) 내로 침투되지 않도록 다공성 전도성 재료인 배플(1605, 1606)을 갖는 기관 지지부(1602)의 대체 실시예를 도시하고 있다. 이러한 채널 내에서 전기장을 피하는 것은 가스 압력이 기관과 지지부 사이의 공간 내에서보다 대체로 작은 배기 채널(1603) 내에서 플라즈마가 형성되는 것을 방지한다. 이러한 경우에, 다공성 플러그 재료의 높은 가스 유동 전달은 주입기 구멍과 다공성 배기 포트 사이의 가스 전달이 증가 또는 감소 중 어느 한쪽이 일어나는 기관과 지지부 사이의 간극으로 인해 변화될 때에 기관과 지지부 사이의 평균 가스 압력에서 강력한 응답이 되게 한다. 2개의 표면 사이의 점성 영역 내에서의 가스 유동을 위한 전달력은 적어도 이들 사이의 간극의 제곱 정도로 급속하게 변화된다는 것을 주목하여야 한다.
- [0107] 도14-도16에 도시된 것과 같은 이러한 예시 기관 지지부는 PGU의 요소와 기관 사이에서 상당히 일정한 간극을 유지하는 것을 가능케 하므로 큰 기관을 처리하는 데 사용될 수 있다. 높은 정확도 및 균일성으로의 간극의 제어는 지지부와 기관 사이의 간극이 변화되는 것을 방지하는 자연 복구 기구가 있으므로 개시된 기관 지지부에 의해 성취된다. 이러한 기구는 다음과 같이 작용한다. 즉, 기관과 지지부 사이의 평균 가스 압력은 이들 사이의 간극이 지지부 내에서의 가스 입구와 배기부 사이에서의 전달력 증가로 인해 증가될 때에 급속하게 감소된다. 기관과 지지부 사이에서의 가스 압력 면에서의 이러한 감소는 기관과 지지부 사이의 가스 압력보다 기관 위의 PGU 내에서의 높은 처리 압력으로 인해 기관이 지지부를 향해 아래로 압박되게 한다. 지지부와 기관 사이의 간극이 감소될 때에, 그 전달력이 급속하게 감소되고, 그에 의해 지지부와 기관 사이의 평균 압력이 증가되게 하고, 그에 의해 지지부와 기관 사이의 간극을 증가시키도록 기관을 압박한다. 기관과 PGU 요소 사이의 간극은 약 5 mm 내지 15 mm 정도로 작고, 플라즈마의 국부 전력 밀도는 이러한 간극에 상당히 의존한다. AC 전력 공급 전극과 기관 사이의 간극이 전극의 길이에 걸쳐 10%만큼 또는 하나의 AC 전력 공급 전극으로부터 또 다른 AC 전력 공급 전극으로 변화되면, 결과적인 전력 밀도 불균일성은 20% 이상일 수 있고, 그에 의해 처리가 동일한 정도 또는 더욱 심각한 불균일성을 갖게 한다. AC 전력 공급 전극 상에 유전성 라이너가 있는 경우에, 플라즈마 불균일성은 라이너를 통과하는 더 높은 AC 전류 밀도가 라이너를 횡단하는 더 큰 전압 강하 그에 따라 라이너의 플라즈마-대면 표면 상에서의 더 낮은 전압을 발생시킬 것이므로 유전성 라이너 및 라이너 자체에 대한 간극의 높은 임피던스(용량성, 리액턴스)에 의해 완화될 것이다.
- [0108] 예시 실시예에서, 많은 처리에 대해 +/- 5%보다 양호하여야 하는 충분한 처리 균일성(U)[여기에서 U=(최대-최소)/(평균의 2배)]을 성취하기 위해, AC 전력 공급 전극으로부터 기관까지의 간극은 약 2% 이하로 유지될 수 있다. 처리 균일성이 +/-1% 정도인 일부 실시예에서, AC 전력 공급 전극에 대한 간극의 크기는 약 +/-0.5%보다 양호하도록 제어될 수 있다. 약 10 mm인 AC 전극으로부터 기관까지의 간극에 대해, 간극은 대부분의 경우에 약 0.2 mm 미만만큼 변화될 수 있고, 간극이 약 5 mm일 때에 0.025 mm 미만만큼 변화될 수 있고, 처리 제어는 약 +/-0.5%보다 양호하다.
- [0109] 도17에는 반대 방향을 갖는 전류(1707, 1708)가 각각 인접한 지지 구조물(1701, 1702) 내에서 유동되는 전기 전도성 권취부(1705) 내의 AC 전류 흐름을 거쳐 유도성 결합에 의해 플라즈마가 형성되는 PGU의 예시 실시예가 도시되어 있다. 이러한 AC 전류의 공급원은 공급부(1706)이고, 권취부(1705)를 통과한 전류는 연결부(1703)를 거쳐 접지부로 복귀된다. 권취부 내의 이러한 전류는 전류(1709, 1710)를 유도하는 지지 구조물 주위의 공간 내에서 급속하게 변화되는 자기장을 생성하고, 그에 의해 이러한 구조물과 이러한 구조물을 지나 이동되는 기관(1507) 사이의 영역 내에서 형성되는 플라즈마를 지속시킨다. 가스는 플라즈마가 또한 지속되는 공간(1711) 내로 작은 구멍(1704)을 통해 주입될 수 있다. 이러한 유도성 결합은 일반적으로 대략 30 cm 이상의 폭의 기관을 처리하도록 약 35 cm 초과 길이로 갖는 구조물(1701, 1702)과 사용되는 것과 같은 큰 권취부에 대해 1f 또는 RF 주파수에서 수행될 수 있다. 처리 챔버는 가변 개수의 PGU를 가질 수 있고, PGU는 가변 폭을 가질 수 있다.

폭이 대략 1 m이고 길이가 1.5 m인 광전지 패널 상에서의 실리콘 증착 등의 적용 분야에 대해, 일부 실시예에서, 단일 챔버 내에 약 5개 내지 약 100개의 PGU가 있을 수 있다. 각각의 AC 전력 공급 전극 또는 코일 권취 구조물은 대략 3 cm 내지 약 30 cm의 폭을 가질 수 있고, PGU는 약 4 cm 내지 약 60 cm일 수 있다.

[0110] 도18은 전극들 사이의 전력 분할을 갖는 예시 실시예를 도시하고 있다. 도18에는 제너레이터(1801)로부터의 임피던스 정합 네트워크(1802)를 통한 그리고 그 다음에 대략 동일한 인덕턴스(1803, 1804)를 통한 세라믹 지지부(1805) 상에 장착되는 전극(1806)으로의 RF 또는 VHF 전력 주입의 균등한 분할의 물리적 및 전기적 모델이 도시되어 있다. 각각의 전극은 유전성 라이너(1807)에 의해 덮인다. 2개의 인덕터에 의한 전력의 분할은 전극으로부터 플라즈마까지의 전류 흐름 경로 내에서의 직렬 커패시터(1811)로서 작용하는 유전성 라이너의 존재에 의해 용이화 및 안정화된다. 라이너를 통과한 후의 전극으로부터의 RF 또는 VHF 전류는 직렬 조합의 커패시터-저항기-커패시터로서 성공적으로 모델링된 벌크 플라즈마(1808)를 통해 그리고 그 다음에 커패시턴스(1815)를 통해 지지부로 이동된다. 커패시터는 라이너 및 기관의 표면에서의 시스를 나타내고, 저항기는 플라즈마의 벌크를 통해 전류를 운반하는 전자의 충돌 손실을 나타낸다. 도면에는 라이너의 외부 표면에 인접한 시스 커패시턴스(1812)가 도시되어 있고, 그 크기는 실제로 RF 위상 그리고 플라즈마와 접촉되는 시스의 이온 전류 밀도에 따라 변화된다. 이러한 시스(1814)가 또한 기관 또는 그 홀더의 표면에 인접하게 존재한다. 이들 시스 사이에는 음 및 양 전하의 동일한 밀도를 갖는 "벌크" 플라즈마가 있다. 이러한 벌크는 전극과 기관(1809) 사이에서 RF 또는 VHF 전류를 운반할 때에 가스와의 충돌로 인한 플라즈마 전자의 운동에 대한 저항을 나타내는 유효 저항(1813)을 갖는다. 기관 아래에는 기관에 대한 또는 기관이 주로 유전성 재료이면 그 표면 상의 임의의 전도성 재료에 대한 유한 간극을 갖는 접지 받침대(1810)가 또한 있다. 이러한 간극 그리고 존재하는 경우에 기관의 유전체는 기관 또는 전도성 표면 재료로부터 접지 받침대(1810)까지의 추가의 커패시턴스를 포함한다. 시스 커패시턴스는 플라즈마 전위 및 이온 전류 밀도 등의 플라즈마 특성에 의존하는 시스 두께로서 반비례 관계로 변화된다. 시스 두께(충돌 없는 시스에 대한 차일드의 법칙이 충돌 시스에 대해 대략 정확한 스케일링을 제공함)는 대략 전류 이온 밀도의 제곱근으로서 감소되고, 전위차의 3/4 제곱으로서 증가된다. 시스 두께는 또한 시스 커패시턴스가 시간에 따라 일정하지 않도록 RF 또는 VHF 위상에 따라 변화된다.

[0111] 박막 광전지 적용 분야를 위한 실리콘의 증착을 위해, 약 1000 Pa 위의 가스 압력에서의 플라즈마 동작은 시스로 진입하는 전력의 크기를 감소시키고, 그에 따라 이온 에너지를 감소시킨다. 이것은 피막 내로의 이온 침투를 크게 감소시키고, 그에 의해 실리콘 내의 결함을 감소시키고 PV 효율을 개선한다. 방전부 내에서 가스 압력을 증가시키는 것은 또한 전자 내로 진입되는 전력 그리고 궁극적으로 중성 반응성 화학종으로의 급송 가스의 해리의 효율을 증가시킨다. 예시 실시예에서, 산소 플라즈마에 의해 유기 중합체의 박리의 효율은 약 600 Pa 위로 가스 압력을 증가시키기에 따라 선형으로 개선된다. 중성 라디칼의 생성에 의존하는 처리는 예시 실시예에서 약 500 Pa 위로 가스 압력을 증가시키기에 따라 개선될 수 있는 것으로 생각된다. 추가로, 가스 압력이 약 4000 Pa까지 증가됨에 따라, 피막에 대한 이온 손상을 포함하는 바람직하지 못한 효과가 약 3 Mhz 정도로 낮은 RF 밴드 내의 여기 주파수에서도 거의 0까지 감소될 수 있다.

[0112] 라이너 특성을 설계하고 분할 작업이 가장 우수해지게 하는 인덕터를 선택하기 위해, 플라즈마 리액턴스 및 저항은 어떤 범위의 플라즈마 상태에 대해 이해되어야 한다. 표II에는 예시 실시예에서 사용될 수 있는 일부 압력 상태에 대한 시스 및 벌크 플라즈마의 임피던스의 범위가 기재되어 있다. 1000 Pa 내지 5000 Pa의 가스 압력에서의 방전부의 전기 임피던스는 전자로의 전력 전달 효율의 개선 그리고 더 높은 압력에서의 감소된 이온 에너지와 관련되는 2개의 주요 효과를 보여준다. 우선, 전극 및 기관 표면에서의 경계 층 즉 시스의 두께는 작고, 그에 의해 시스 커패시턴스가 커지게 하고 방전부 임피던스의 리액턴스 부분이 작아지게 한다.

[0113] 약 1000 Pa 위의 가스 압력에 대해, 플라즈마 비저항은 더 높은 압력의 플라즈마에서 더 높은 전자-중성 충돌 주파수 그리고 전자에 대한 더 낮은 밀도로 인해 높다. (플라즈마 비저항은 전자 밀도에 반비례하고 가스 밀도에 정비례한다.) 이것은 플라즈마의 전기 저항이 높다는 것을 의미한다. 전자 밀도는 약 10^9 내지 약 $5 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 이다. 그러므로, 약 1000 Pa 초과인 더 높은 압력의 경우에 대한 플라즈마 비저항은 약 10,000 Ω-cm 내지 약 200,000 Ω-cm이다. 약 1 cm의 간극을 가정하면, 이것은 약 4 Ω 내지 약 80 Ω의 0.25 m²의 전극 면적에 대한 저항 성분 임피던스를 발생시킨다.

[0114] 약 1000 Pa 위에서, 시스 두께는 약 0.2 mm 내지 약 1 mm이다. 이것은 단일 시스에 대해 cm²당 커패시턴스가 약 1.2 pF/cm² 내지 약 6 pF/cm²인 것을 의미한다. 방전부 리액턴스 성분 임피던스는 저항 성분 임피던스와 달리 여기 주파수에 의존하고, 즉 주파수에 반비례한다. 13.56 Mhz의 동작 주파수에 대해, 단일 시스 리액턴스 성분 임피던스는 약 10,000 Ω/cm² 내지 약 2,000 Ω/cm²이다. 그러나, 이러한 플라즈마에 대해, 2개의 대략 동일한 시

스가 직렬로 있으므로, 단일 시스 리액턴스를 2배로 하여야 한다. 이와 같이, 플라즈마 리액턴스는 약 4,000 Ω/cm² 내지 약 20,000 Ω/cm²이고, 결국 약 1.6 Ω 내지 약 8 Ω의 0.25 m²의 전극 면적에 대한 플라즈마 리액턴스 성분 임피던스를 발생시킨다.

[0115] 라이너가 약 0.25 mm의 전극 표면으로부터의 간극 그리고 약 3 mm의 라이너의 두께를 가지면, 13.56 MHz에서의 라이너의 임피던스는 약 14,000 Ω/cm²이다. 이것은 방전부의 리액턴스 및 저항 성분 임피던스와 직렬로 되어 있고(도18), 고압 방전의 리액턴스 성분 임피던스에서 70% 내지 350% 증가를 발생시킨다. 0.25 m²의 라이너 면적에 대해, 총 리액턴스는 약 7 Ω 내지 12 Ω이고, 이것은 방전부의 저항 성분 임피던스의 훨씬 더 큰 분율이고, 그에 의해 플라즈마 공간 균일성을 안정화하는 것을 돕는다. 시스 리액턴스는 훨씬 더 큰 분율이고, 일부 경우에 저항 성분 임피던스와 거의 동일하다. 3 mm 두께의 유리 기관이 사용되면, 리액턴스는 약 24,000 Ω/cm² 내지 48,000 Ω/cm²의 범위까지 10,000 Ω/cm²만큼 증가되고, 이것은 저항 성분 임피던스와 더 유사하다.

[0116] 이와 같이, 높은 가스 압력 방전에서, 저항 성분 임피던스는 대개 리액턴스 성분 임피던스보다 크다. 여기 주파수가 40 MHz 이상까지 증가되면, 몇 정도 이상의 인자만큼 시스 두께 및 리액턴스 성분 임피던스를 추가로 감소시킬 것이고, 그에 의해 리액턴스 성분에 대한 저항 성분 임피던스의 훨씬 더 큰 지배를 발생시킨다. 이러한 방전에서의 에너지 전달은 플라즈마의 벌크 내의 전자에 대해 매우 우세한 것으로 생각된다. 수 W/cm² 미만인 적절한 전력 밀도에서 높은 가스 압력의 경우에서의 전자 에너지 분포는 더 낮은 에너지에서 강력한 피크를 갖기 때문에, 이러한 에너지는 주로 이온화보다는 해리로 할당되고, 그에 의해 박막 증착을 위한 화학종의 발생을 위한 효율을 추가로 개선한다.

표 2

[0117]

방전 조건	방전 임피던스-라이너 없음		방전 임피던스-라이너 있음	
	비저항(Ω-cm)	리액턴스/cm ²	비저항(Ω-cm)	리액턴스/cm ²
고압 방전(1000 Pa 내지 5000 Pa)	10000-200000	4000-20000	10000-200000	18000-34000

[0118] 예시 실시예에서, 전극 및 그 플라즈마와 직렬로 대략 동일한 인덕터를 갖는 목적은 전극으로의 RF 또는 VHF 전류를 균등화하고 기관의 대략 동일한 전력 밀도 및 처리 속도로 2개의 전극에 인접하게 플라즈마를 지속시키는 것이다. 인덕터를 갖는 회로는 2개의 전극 및 그 플라즈마로 RF 또는 VHF 전류를 분할한다. 전극 상에 라이너가 없으면, 더 큰 밀도의 하나의 전극의 플라즈마가 그 시스의 커패시턴스를 증가시킬 것이고 그 시스 리액턴스 그리고 그 벌크 영역의 저항의 양쪽 모두를 감소시킬 것이고, 그에 의해 전극 및 플라즈마의 총 임피던스는 감소될 것이다. 이것은 더 많은 전류가 그 전극으로 할당되게 하고 다른 전극으로 덜 할당되게 하고, 그에 의해 전극 및 그 플라즈마에 대한 전력 분포가 더 불균형해지게 한다. 그러나, 전극이 (통상의 플라즈마 상태 하에서의) 시스보다 작은 커패시턴스 그리고 그보다 큰 리액턴스를 갖도록 된 두께 및 유전 상수를 갖는 및 라이너를 가질 때, 전극들 사이에서의 전류의 분할이 안정화된다. 라이너로써, 하나의 플라즈마가 고밀도화되고 더 많은 전류를 유도하기 시작하면, 라이너의 상당한 리액턴스가 그 라이너의 리액턴스를 횡단하는 더 큰 전압 강하를 유발하고, 그 라이너의 외부 표면 상에서의 전압이 감소된다. 이것은 결국 그 전극의 플라즈마를 통해 전류를 감소시키고, 그에 의해 그 전극에서 플라즈마 밀도를 감소시킨다. 이러한 자기-안정화 특징은 라이너가 적절하고 충분한 용량성 리액턴스를 제공하기 때문에 작용한다. 대략적으로 말하면, 각각의 유도성 리액턴스가 최저 밀도의 플라즈마 상태에서 또는 플라즈마가 없을 때에 라이너 및 시스의 합성된 직렬 용량성 리액턴스를 상쇄하도록 분할기의 각각의 분지부에 대해 인덕턴스의 수치가 선택된다. 그러면, 플라즈마가 더 고밀도화됨에 따라, 전극 및 기관에서의 시스는 더 얇아지고, 그에 의해 그 커패시턴스를 증가시키고 그 용량성 리액턴스를 감소시킨다. 이것은 유도성인 그 전극을 통한 총 리액턴스(양인 유도성 리액턴스와 음인 용량성 리액턴스의 합은 공진 상태에서 서로를 상쇄함)가 상당히 증가되게 하고, 한편 다른 전극을 통한 리액턴스가 대략 동일하게 감소된다. 리액턴스 면에서의 이러한 변화는 플라즈마 저항 면에서의 변화보다 크고, 그에 의해 더 많은 전류가 덜 밀집한 플라즈마를 갖는 전극을 통과하게 한다. 즉, 이것은 이들 사이에서의 전력의 분할에 대해 안정적이다. 예컨대, 13.56 MHz RF 전력에 대해, 전류의 분할을 적절하게 안정화하기 위해, 라이너의 커패시턴스는 약 0.5 pF/cm² 내지 약 1.5 pF/cm²이어야 한다. 플라즈마를 위한 여기 전류의 주파수가 증가됨에 따라, 라이너 두께 그리고 그에 따라 그 커패시턴스는 주파수 면에서의 증가에 따라 선형으로 감소되도록 선택되어야 한다. 따라서, 80 MHz에서, 약 0.2 pF/cm² 내지 약 0.6 pF/cm²의 범위를 가질 수 있다. 그러면, 인덕터(1803, 1804)의 수치는 플라즈마와 대면하는 그 면적 그리고 또한 접지부에 대한 그 부유 용량에 또한 의존하는 라이너의 총 커패시턴스에 의존할 것이다.

- [0119] 1.2 m의 길이 그리고 10 cm의 폭을 갖는 전극을 위한 라이너는 약 2500 cm²의 면적 그리고 약 150 pF 내지 400 pF의 플라즈마가 없는 전극-대-접지부 커패시턴스를 갖고, 그에 의해 약 27 Ω 내지 72 Ω의 총 용량성 리액턴스를 발생시킨다. 그러므로, 일련의 공진 동안에, 전류를 분할하기 위한 13.56 MHz에서의 인덕터 크기는 약 0.3 μH 내지 0.8 μH일 수 있다. 이러한 인덕턴스 범위 즉 하한 및 상한의 양쪽 모두는 동작 주파수에 대략 반비례하고, 유전체 두께 면에서 변화가 수행되지 않으면 길이×폭×약 1.5의 인자인 전극의 면적에 반비례한다. 그러나, 더 높은 동작 주파수의 사용은 수용 가능한 수치로 그 리액턴스를 유지하도록 더 두꺼운 유전체를 사용하게 한다. 예컨대, 유전체 두께는 대략 동작 주파수의 제곱근으로서 증가될 수 있으므로, 라이너의 리액턴스는 주파수가 변화되지 않으면 유사하게 증가될 것이다. 인덕터 수치는 또한 라이너 표면과 기관 사이의 간극이 증가됨에 따라 크기 면에서 대략 선형으로 증가되는 경향을 가질 것이다.
- [0120] 요약하면, 예시 실시예에서, 고압 방전은 대부분의 상황에서 전기 임피던스 면에서 주로 저항성일 수 있다. 라이너가 고압 방전에 추가될 때에, 리액턴스 성분 임피던스가 상당히 상승되고, 이것은 전극 및 플라즈마로의 전력 분할을 안정화시키고 동일하게 유지하는 것을 돕는다. 라이너의 존재는 고압 방전에 대해 약 7 Ω의 2500 cm²의 라이너 면적에 대해 최소 리액턴스가 되게 한다는 것이 또한 주목되어야 한다.
- [0121] 도19는 적어도 1개의 다른 전극에 인접한 전극(1901)이 있고 이들 중 적어도 하나에는 전력이 공급되고 전극의 길이를 따라 리세스형 영역이 형성되는 예시 실시예를 도시하고 있다. 가스가 그 중앙부(1902) 내에서 그리고 또한 전극의 주위 영역(1903)으로부터 주입된다. 이들 가스는 혼합물일 수 있고, 상이하거나 동일한 조성을 가질 수 있다. 주입 후에, 가스는 공작물 표면(1900)에 인접하게 그리고 그 다음에 챔버로부터 배기부로 연결되는 1개 이상의 채널(1904)로 유동된다. 배기부로 연결되는 이러한 채널은 일부 실시예에서 가스 유동이 2개의 방향 즉 도면에서 좌측 및 우측 사이에서 거의 균등하게 분할되도록 전극에 대해 대칭일 수 있다. 리세스(1905)로부터 주입된 가스는 기관에 더 근접한 전극의 다른 영역(1906)으로부터 주입된 가스와 조성 면에서 상이할 수 있다. 구체적으로, 실리콘 산화물 또는 실리콘 질화물의 증착을 위해, 리세스 내에서 주입된 가스는 산소 또는 질소, 또는 불활성 가스와 함께 이들 가스를 함유하는 혼합물일 수 있다.
- [0122] 도20에는 다른 전극에 인접한 전극(2000), 처리될 기관(2001) 그리고 1개 이상의 전극으로의 RF 또는 VHF 전력의 인가에 의해 이들의 모두 사이에 형성되는 플라즈마(2002)가 도시되어 있다. 가스는 전극으로부터 전극과 기관 사이의 공간 내로 주입된다. 전극 내에는 가스가 공급부(2005)로부터 주입될 수 있는 내부 채널(2003) 그리고 별도로 제어 가능한 가스 공급부의 가스(2006)가 주입될 수 있는 1개 이상의 외부 채널(2004)을 갖는 가스 주입 매니폴드가 있다. 가스는 각각의 채널로부터 전극의 표면으로 작은 구멍(2007)의 열 또는 열들을 거쳐 플라즈마 내로 주입된다. 가스는 하나의 채널로부터 다음의 채널로의 전달을 위한 단면적이 그 채널의 길이를 따른 단면적보다 작은 제한된 연결부(2008)를 통해 하나의 채널로부터 다음의 채널로 매니폴드 내에서 전달될 수 있다. 플라즈마 내로 주입되면, 가스 유동(2009)은 전극들 사이의 좁은 간극을 거쳐 가스가 배기부(2010)로 유동되도록 방향 전환되는 전극의 모서리를 지나 전극의 중심으로부터 멀어지게 진행된다. 일부 실시예에서, 가스 상 조성물에 민감한 성질을 갖는 비정질 실리콘 또는 어떤 다른 재료가 증착되는 경우에, 증착이 일어나는 기관 표면의 영역 위에서 동일한 가스 조성을 유지하는 것이 바람직할 수 있다. 이러한 경우에, 가스가 기관 위에서 유동됨에 따라 실란 등의 1개 이상의 가스 성분이 다른 가스 성분보다 강력하게 고갈될 때에, 수소 등의 가스 내에서 고갈되지 않은 다른 화학종을 추가로 주입하지 않으면서 고갈된 가스 성분을 보충하는 것이 바람직하다. 도20에 도시된 예시 실시예에서, 외부 채널(2004)로 급송된 가스 혼합물은 실란 또는 다른 증착 처리를 위한 고갈된 가스 성분이 풍부한 가스의 혼합물일 수 있고, 그에 의해 유동이 진행됨에 따라 중심으로부터 점진적으로 멀리 떨어진 구멍의 열로부터 주입된 가스에는 이러한 고갈된 성분이 점점 풍부해진다. 이러한 접근법을 사용하여, 외부 채널 내에 가장 풍부한 가스를 위치시킴으로써, 가스가 전극의 중심으로부터 모서리로 이동됨에 따라 주입된 가스의 혼합물이 점진적으로 더 풍부해지게 되고, 그에 의해 가스 상 내에서의 중요한 화학종의 농도가 대략 일정하게 유지될 수 있다.
- [0123] 도21a는 약 200℃ 미만의 온도를 갖는 기관 상에 실리콘 산화물 또는 실리콘 질화물 등의 유전체를 증착하는 데 사용될 수 있는 시스템의 실시예의 개략도이다. 대략 동일한 전압이지만 그 위상이 상이할 수 있는 RF 또는 VHF 전력이 공급되는 2개 이상의 전극(2100)이 있다. 이들 전극은 도면에서 우측으로 이동되는 기관(2101)으로부터 분리되어 있다. 실리콘 산화물, 또는 다른 산화물 또는 질화물을 증착하기 위해, 가스(2102)가 기관 상에 박막을 형성하는 산소, 질소 또는 다른 화학종을 포함할 수 있는 전극들 사이의 간극 내로 주입된다. 이러한 간극(2107) 내에는 일부 실시예에서 다른 가스가 주입되기 전에 반응성 화학종으로 만들도록 이러한 가스를 더 급속하게 그리고 완전하게 해리시키기 위해 전극과 기관 사이의 플라즈마보다 높은 전력 밀도 및 플라즈마 밀도를 가질 수 있는 플라즈마가 있다. 증착을 위한 전구체 가스(2103)가 또한 전극 내로 주입되고, 채널(2104) 내

로, 그 다음에 다른 전극과 대면하는 전극의 측면 내의 작은 구멍(2105)을 통해 그리고 플라즈마로 유동된다. 이러한 전구체 가스는 실란, 또는 실리콘, 아연, 티타늄, 알루미늄, 탄소, 인듐, 루테튬, 주석, 몰리브덴, 갈륨, 비소, 인 또는 탄탈 등의 1개 이상의 원소를 함유하는 다른 가스를 함유할 수 있다. 주입된 가스가 플라즈마에 도달될 때에, 가스는 산소, 질소 등의 해리된 반응성 가스 화학종과 매우 신속하게 반응되고, 가스 상 내에서 완전하게 반응될 수 있고, 그에 의해 전구체 및 반응성 화학종으로부터의 증착 원소의 결과적인 화합물이 기판 상에 증착될 수 있다. 증착될 수 있는 화합물의 예는 실리콘 산화물, 티타늄 이산화물, 갈륨 질화물 또는 실리콘 질화물을 포함한다. 본 발명의 실시예의 하나의 잠재적인 장점은 수소 또는 탄소가 적게 포함된 고품질의 피막이 통상의 온도 예컨대 약 200°C 미만의 온도보다 낮은 온도를 갖는 기판 상에 증착될 수 있다는 것이다. 이러한 특징은 통상의 기판이 600°C일 수 있는 갈륨 질화물 등의 물질의 에피택시얼 증착에 추가로 적용된다. 예시 실시예에서, 에피택시얼 증착은 약 600°C 미만의 온도를 갖는 기판 상에서 일어날 수 있다. 이러한 경우에, 라이너를 갖는 전극의 사용은 전극에 의해 흡수되는 열을 감소시킨다. 사실상, 석영 또는 불투명 석영 등의 유전성 라이너의 2개 이상의 층을 갖는 라이너가 사용될 수 있고, 그에 의해 전극에 대한 열 플럭스를 크게 감소시키고 이러한 플라즈마식 에피택시얼 증착을 용이하게 한다. 이러한 다중 층 라이너와 관련하여, 라이너의 RF 임피던스를 감소시키도록 13.56 MHz 위의 RF 또는 VHF 주파수를 사용하는 것이 유리할 수 있다. 전극(2100)의 폭은 전구체가 플라즈마 내로 진입되는 지점으로부터 멀어지게 가스가 이동됨에 따라 증착 화합물이 급속하게 가스 상으로부터 고갈될 수 있기 때문에 일부 실시예에서 약 1.5 cm 내지 약 15 cm일 수 있다. 전극들 사이에 주입되고 그 다음에 전극 아래를 통과한 후의 가스는 전극과 이웃 전극 또는 분할기 사이를 지나 배기부(2106)로 통과하도록 방향 전환된다. 이러한 실시예 및 방법은 종래의 PECVD 반응기보다 낮은 기판 온도에서 양질의 유전체 및 다른 피막을 생성할 수 있다. 이러한 전극의 다중 쌍은 그 긴 측면이 평행한 상태로 배열될 수 있고, 이 때에 이들 사이의 간극은 약 5 mm 내지 약 15 mm이다.

[0124] 도21b는 플라즈마 전력 밀도 그리고 모든 반응성 가스의 혼합 전의 화학종의 사전-해리를 감소시키고 기판에 인접하게 유동시키는 것이 요구되는 일부 실시예에 적절한 구성을 도시하고 있다. 전극(2111)은 일부 실시예에서 예컨대 낮은 유전 상수를 갖고 이들 사이에 개재되고 가스가 유입되는 공간의 대부분을 충전하는 유전성 재료(2115)를 가질 수 있다. 이러한 방식으로, 벌크 가스 유동이 전극과 기판 사이로 급송 가스를 운반하기 전에 플라즈마 그리고 급송 가스의 해리를 위해 이용 가능한 단지 적절한 체적부(2117)가 남아 있다. 가스는 매니폴드(2118)를 거쳐 전극(들)으로부터 직접적으로 및/또는 별도로 제어 가능한 공급부(2114)로부터 이러한 체적부 내로 유입될 수 있다. 가스는 또한 전극 사이의 간극(2117) 그리고 전극(2111)과 기판(2119) 사이의 공간의 양쪽 모두로 가스를 주입하는 매니폴드(2118) 내로 별도로 제어 가능한 공급부(2112, 2113)로부터 주입될 수 있다. 이러한 플라즈마 내로 주입되면, 가스는 기판을 향해, 그 다음에 전극(들)과 기판 사이로 그리고 마지막으로 전극과 이웃 요소 사이의 좁은 공간(2116) 내에서, 그리고 그 다음에 챔버로부터 배기부로 유동된다. 전극 사이의 간극(2114) 내로 주입되는 가스는 불활성 가스, 처리 가스 혼합물 또는 전구체 및/또는 반응성 가스를 함유하는 별개의 혼합물일 수 있다.

[0125] 도22에는 전극의 길이를 따라 1% 이하 정도로 단지 매우 작은 변화를 갖는 플라즈마 내의 가스 그리고 플라즈마에 유동 패턴 및 속도를 제공하는 데 적절한 일부 실시예를 위한 구성이 도시되어 있다. 가스가 기판과 전극 사이에서 유동될 때에 가스 유동이 상당한 수렴 또는 발산 없이 플라즈마의 길이를 따라 상당히 일정한 양호한 플라즈마 및 처리 균일성을 갖는 것이 바람직할 수 있다. 이것은 가스 유동의 방향이 공급원의 실질적으로 전체 길이에 대해 전극(들)의 긴 방향에 직각이어야 한다는 것을 의미한다. 별도로 제어 가능한 공급부로부터의 가스(2201)가 매니폴드(2202)를 통해 전극들 사이의 간극 내로 주입되는 일부 실시예에서, 이것은 도면의 평면에서 약 1 cm² 초과 단면적을 가져야 한다. 이것은 본 발명에서 양호한 가스 압력에서 즉 약 100 Pa 내지 약 5000 Pa에서 전극(2206)의 거의 전체 길이만큼 연장되는 이러한 매니폴드의 길이에 걸쳐 높은 가스 전달력을 발생시킨다. 일부 실시예에서, 그 내의 압력이 상당히 일정하도록 그 길이를 따라 분배되는 이러한 매니폴드로의 다중 평행 가스 급송물이 있을 수 있다. 가스는 그 다음에 작은 구멍 또는 슬롯(2203)을 통해 그리고 그 다음에 전극들 사이의 공간을 통해 도면에서 하향으로 유동된다. 유동 방향에 직각인 이러한 작은 구멍 또는 슬롯의 합성 면적은 가스가 배출되는 주입 매니폴드의 도면에 도시된 것과 같은 단면적보다 작아야 한다. 사실상, 매니폴드로부터 나오는 모든 이러한 작은 덕트의 합성 가스 전달력은 그 길이의 1/2에 대한 매니폴드의 전달력보다 작아야 한다. 결국, 주입 매니폴드 내에서의 가스 압력은 작은 덕트로부터 전극들 사이의 간극 내로의 가스의 유동이 길이를 따른 위치와 거의 독립적이도록 거의 일정하다. 가스가 전극들 사이에서 기판을 향해 유동되고, 그 다음에 기판과 전극 사이에서 유동되도록 방향 전환되고, 전극을 통과하고, 그 다음에 전극과 전극일 수 있는 이웃 요소(2207) 사이의 좁은 간극(2205) 내에서 유동되도록 재차 방향 전환된다. 개시된 구성에 따른 이들 좁은 공간 내에서의 유동은 실질적으로 도면의 평면 내에 있을 것이고, 공급원의 길이를 따른 위치와 독립

적일 것이다. 가스가 이러한 좁은 간극을 통해 유동되면, 가스는 배기 구멍(들)을 통해 배기 매니폴드(2204) 내로 유동된다. 이러한 매니폴드의 가스 전달력은 도면의 평면 내에서의 그 단면적이 5 cm² 이상일 수 있도록 전극의 긴 치수에 평행한 방향을 따라 상당하여야 한다. 이러한 높은 가스 전달력으로써, 이러한 매니폴드의 길이를 따른 가스 압력은 거의 일정할 것이다. 배기 매니폴드 내에서의 가스 압력의 균일성 및 일정성을 더욱 개선하기 위해, 이러한 매니폴드의 길이를 따라 덕트로부터 진공 펌프로의 1개 초과 펌프-아웃 포트(2208)를 제공하는 것이 도움이 된다. 메인 진공 라인에 이러한 펌프-아웃 포트를 연결하는 덕트는 펌프-아웃 포트에서의 압력이 균등하도록 동일한 전달력을 갖는 것이 바람직하다.

- [0126] 도23은 예시 실시예에 따른 예시 시스템 및 방법을 사용하여 제조될 수 있는 예시의 다층 구조물을 도시하고 있다. 예컨대, 도13에 도시된 예시 반응기 등의 상이한 층을 순차적으로 증착하는 다중 PGU를 갖는 반응기가 사용될 수 있다. 각각의 층을 위한 PGU의 개수 그리고 증착될 층의 개수는 형성될 요구 구조물에 따라 변화될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 도23에서, 어느 한쪽 또는 양쪽 모두가 유전체, 전기 전도체 또는 반도체일 수 있는 2개의 재료의 박막의 교대 층으로 구성되는 예시의 다층 구조물이 도시되어 있다. 이러한 적층체는 어떤 파장 밴드를 전달하면서 다른 파장 밴드를 거의 완벽하게 반사시키는 이색성 광학 필터에 사용될 수 있다. 또 다른 적용 분야는 광학, 광전지, 디스플레이 또는 전자 적용 분야를 위한 초격자 구조물일 수 있다. 제3 적용 분야는 도핑 및 도핑되지 않은 교대 층을 요구하는 광전지 소자를 위한 적용 분야일 수 있다. 많은 적용 분야에서 적절한 기능을 위해, 이러한 다층 구조물은 기관의 영역의 대부분에 걸쳐 정확하고 상당히 균일한 두께를 가져야 한다. 큰 직사각형 기관에 대해, 이것은 매우 어려운 작업이고, 층 두께 및 조성의 1% 내지 2%의 제어 및 반복성을 유지할 수 있는 능력을 요구할 수 있다. 위에서 설명된 것과 같은 예시 실시예는 이들 증착물이 (예컨대, 도13과 관련하여 설명된 것과 같이) 기관 상에 상이한 높이에 증착되는 상이한 층이 되도록 이동 기관 상에 동일한 시스템 내에서 동시에 많은 층을 증착할 수 있는 그 능력으로 인해 이러한 구조물을 처리하는 데 상당한 장점을 갖는 것으로 여겨진다. 도23에서, 층은 더 얇은 재료의 층(2301)으로부터 더 두꺼운 재료의 층(2302)까지 두께 및 재료 종류 면에서 교대된다. 이러한 층은 이색성 필터를 위한 투명 유전체의 교대 층일 수 있다. 이러한 경우에, 이들은 일부 실시예에서 상이한 굴절률 그리고 작용 파장 영역에서 적은 광 흡수성을 갖는다. 2개의 이러한 재료는 더 두꺼운 층을 위한 실리콘 산화물 그리고 더 얇은 층을 위한 티타늄 이산화물일 수 있다. 두께는 일부 실시예에서 실리콘 산화물에 대해 500 내지 2000 Å의 범위 내에 그리고 티타늄 이산화물에 대해 200 내지 1000 Å의 범위 내에 있을 수 있다. 도13에서, 도시된 것과 같은 각각의 재료의 층은 적층물 전체에 걸쳐 반복적으로 동일하지만, 각각의 재료의 층은 실제로 두께 면에서 변화될 수 있다. 예시 실시예에서, PGU의 개수, 전력, 가스 혼합물 및 가스 유동은 높은 처리량을 갖는 순차 증착 처리의 일부로서 상이한 층 두께, 성질 및 조성을 성취하도록 반응기 내의 후속 처리 스테이션에 대해 변화될 수 있다. 예시 실시예에서, 공작물은 다양한 상이한 순차 층을 증착하도록 상이한 세트의 PGU 아래에서 컨베이어에 의해 이동될 수 있다.
- [0127] 플라즈마 내로의 AC 전력의 전달이 유도성, 용량성 결합 또는 이들 양쪽 모두에 의해 수행되지 지와 무관하게, 다음의 특징(또는 그 임의의 조합)이 예시 실시예에서 제공될 수 있다.
- [0128] 예시 실시예에서, 전극 또는 코일의 권취부의 그룹 그리고 또한 분할기를 포함하는 PGU 내의 요소는 요소로부터 기관까지의 간극에 직각인 방향으로의 그 폭보다 훨씬 길 수 있다.
- [0129] 예시 실시예에서, PGU의 요소와 기관 사이의 간극은 전극 또는 권취부의 그룹과 무관하게 AC 전력 공급 전극의 폭보다 작을 수 있고, 이러한 간극은 일부 실시예에서 약 5 mm 내지 15 mm일 수 있다.
- [0130] 예시 실시예에서, AC 전력 공급 요소(전극 또는 코일의 권취부의 그룹)와 기관 사이에서의 가스 유동은 요소의 긴 치수에 직각인 유동 속도의 그 성분에 비해 요소의 긴 방향에 평행한 유동 속도의 매우 작은 성분을 가질 수 있다. AC 전력 공급 요소와 기관 사이에서의 가스의 벌크 유동은 주로 기관에 평행할 수 있고, 가스가 AC 전력 공급 요소에 근접하게 유동될 때에 수렴 또는 발산되지 않는다. 가스 내에서의 화학종의 농도는 AC 전력 공급 요소 또는 PGU의 길이를 따른 위치와 대체로 독립적일 수 있고, 점점 커지는 기관을 처리하도록 요소의 길이를 확장하기 더 용이하다. 요소와 기관 사이에서의 이러한 가스의 평행한 시트형 유동을 성취하기 위해, 가스 주입 및 가스 펌핑의 양쪽 모두는 요소의 길이를 따라 상당히 균일할 수 있다. 이것은 예시 실시예에서 적절한 분배 및 펌핑 매니폴드으로써 성취될 수 있다.
- [0131] 예시 실시예에서, 이러한 가스 유동은 실질적으로 요소의 긴 방향에 직각인 각각의 AC 전력 공급 요소 주위에서 그리고 그 다음에 그 요소에 근접한 배기 포트 내로 진행될 수 있다. 그러므로, 임의의 AC 전력 공급 요소 주위에서의 가스 스트림은 주로 그 요소에 국한될 수 있다. 처리가 1개의 PGU 또는 PGU의 그룹 내에서 사용되는 일부 가스 화학종에 상당히 민감한 경우에, PGU에 근접하게 또는 그로부터 주입되는 단지 불활성 가스와 관련된

개재 요소가 예시 실시예에서 사용될 수 있다. 이것은 서로로부터의 처리 영역의 가스 격리를 제공하는 데 사용될 수 있다. 결국, 그 사이에 큰 세정 분리부 또는 대형 차단부를 갖지 않고도 2개 이상의 상이한 처리가 동일한 처리 챔버 내에서 동시에 1개 이상의 기관 상에 수행될 수 있도록 사용되는 다수개의 상이한 가스 혼합물이 있을 수 있다.

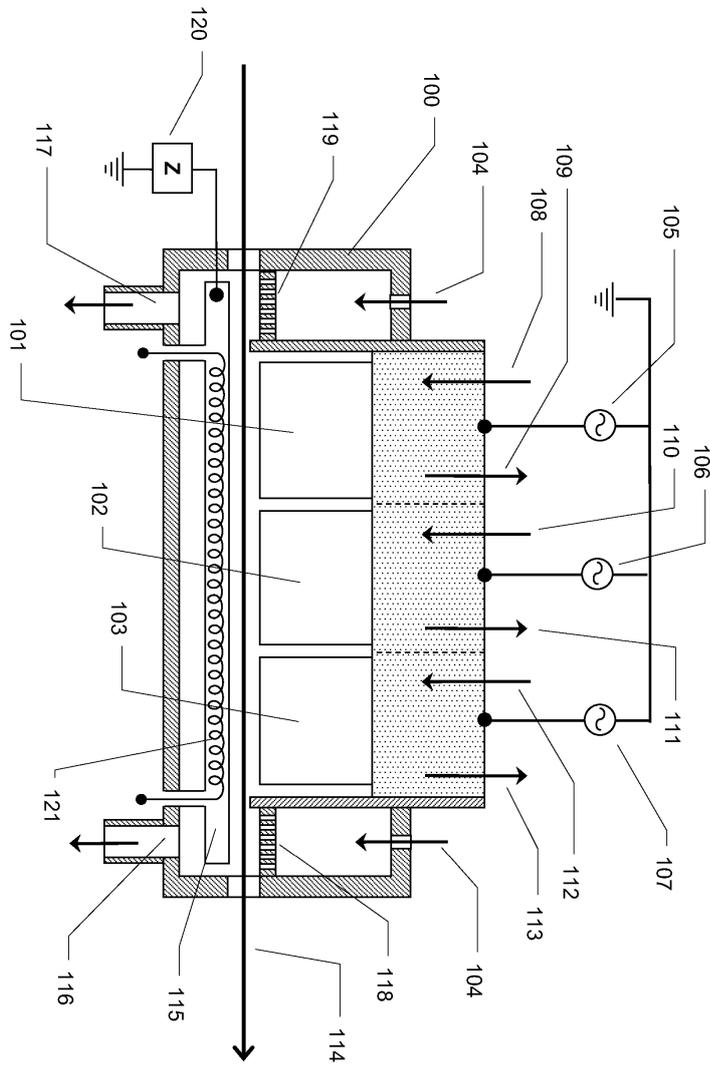
[0132] 예시 실시예에서, AC 전력 공급 요소는 유전성 또는 약한 전도성 라이너 또는 실드에 의해 덮일 수 있다. 예시 실시예에서, 라이너 또는 실드는 적절한 열 팽창 계수를 가질 수 있다. 이러한 라이너는 차가운 표면과의 접촉으로 인해 가스가 냉각되는 것을 방지할 수 있다. 이것은 전극 또는 권취부들 사이의 일정한 간극을 유지하는 것을 도울 수 있다. 이러한 실드 또는 라이너는 또한 일부 실시예에서 플라즈마의 전력 밀도 균일성을 안정화시키는 경향을 가질 수 있다.

[0133] 예시 실시예는 또한 각각의 AC 전력 공급 요소와 기관 사이에서 지속되는 플라즈마가 주로 그 요소로부터 주입된 전력에 의존하게 할 수 있다. 이것은 상이한 전력 공급 요소에 근접한 플라즈마 전력 밀도의 상당히 독립적인 변화를 가능케 하고, 각각의 PGU에 대한 가스의 화학적 성질의 독립성과 함께 사용될 때에, 상이한 PGU 또는 처리 영역 내에서의 기관 상에서의 동시 처리의 실질적으로 독립적인 변화를 가능케 한다. 이것은 다층 구조물의 증착 또는 기관의 일체형 순차 트리트먼트를 용이하게 하고 경제적이게 하는 데 사용될 수 있다.

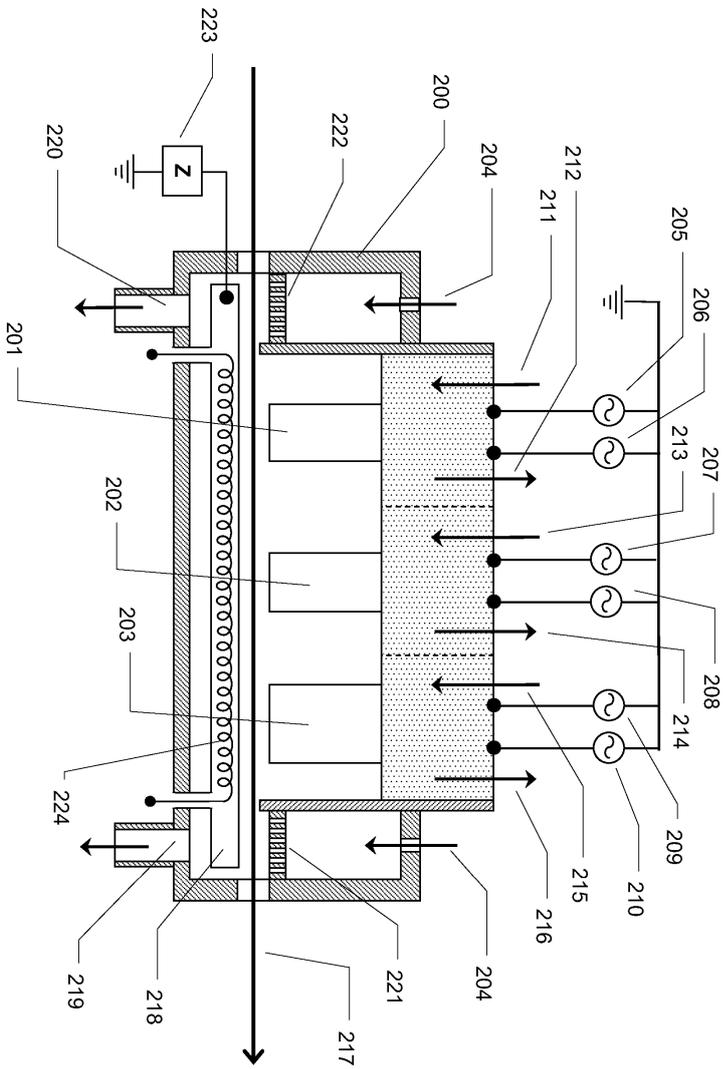
[0134] 본 발명은 예시 실시예를 참조하여 설명되었지만, 하나의 도면을 참조하여 설명된 특정 구성 요소 또는 구성은 또 다른 도면에서 설명된 구성과 적절할 때에 동일하게 사용될 수 있다는 것이 이해될 것이다. 이들 예의 임의의 설명은 본 발명을 제한하도록 의도되지 않고, 그 변화 및 변형은 본 발명의 사상 또는 범주로부터 벗어나지 않고도 수행될 수 있다.

도면

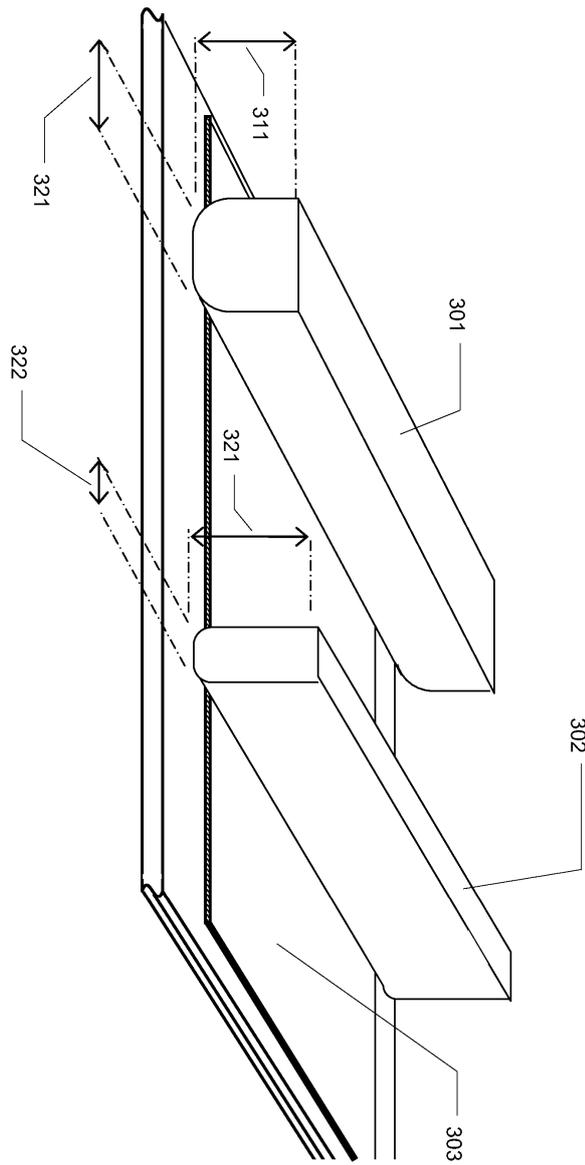
도면1



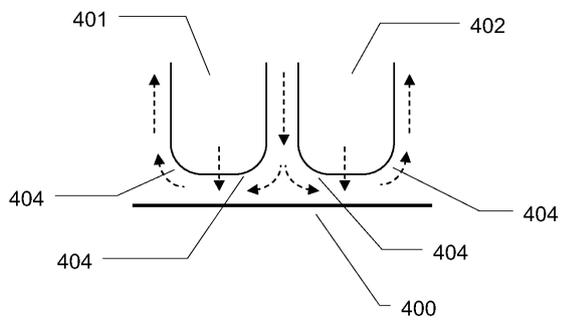
도면2



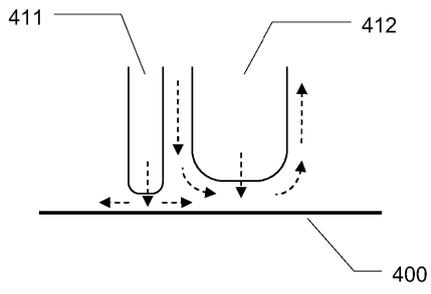
도면3



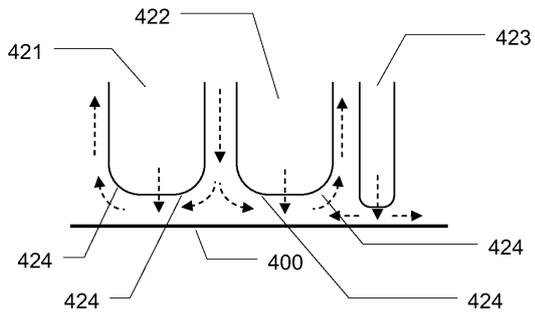
도면4a



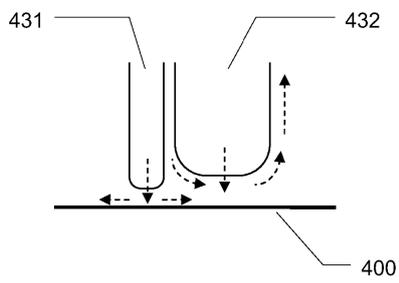
도면4b



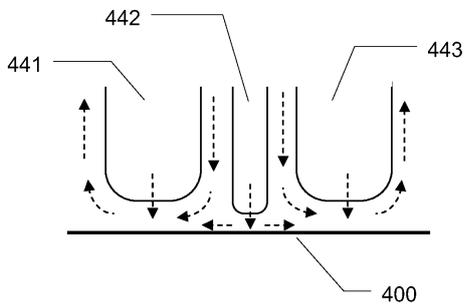
도면4c



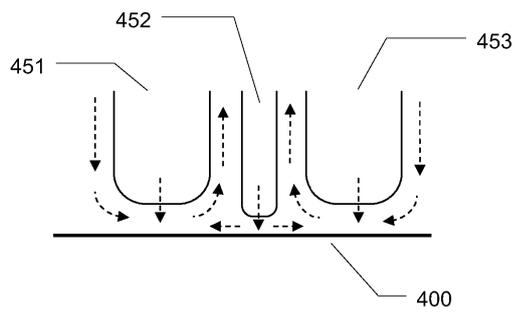
도면4d



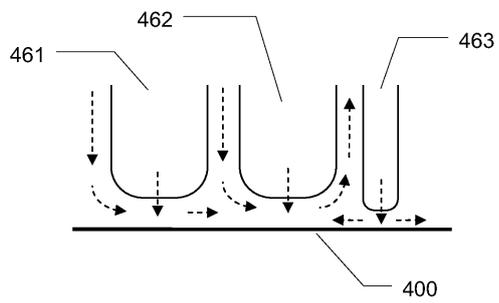
도면4e



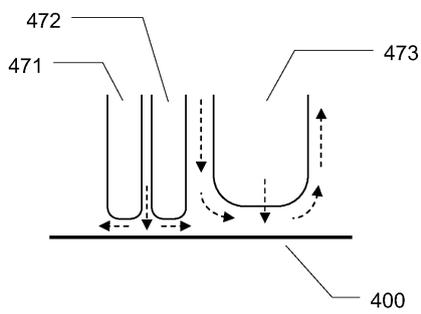
도면4f



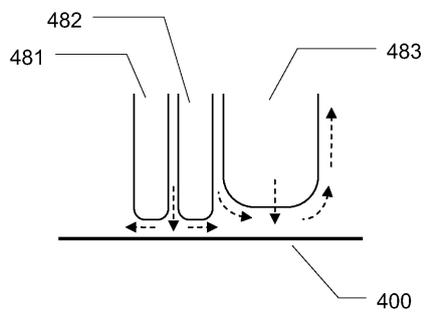
도면4g



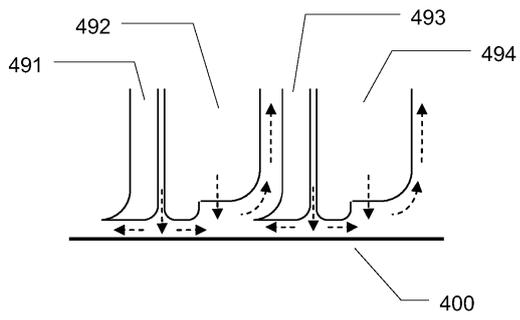
도면4h



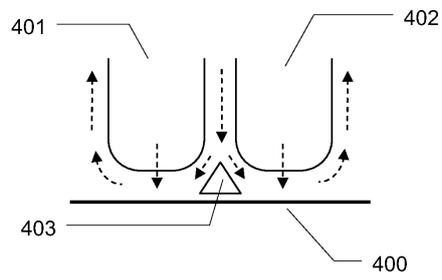
도면4i



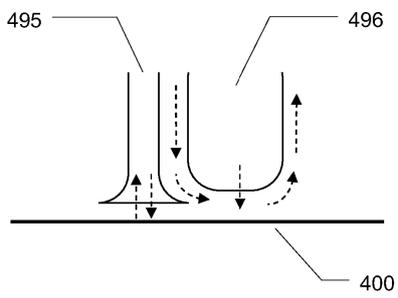
도면4j



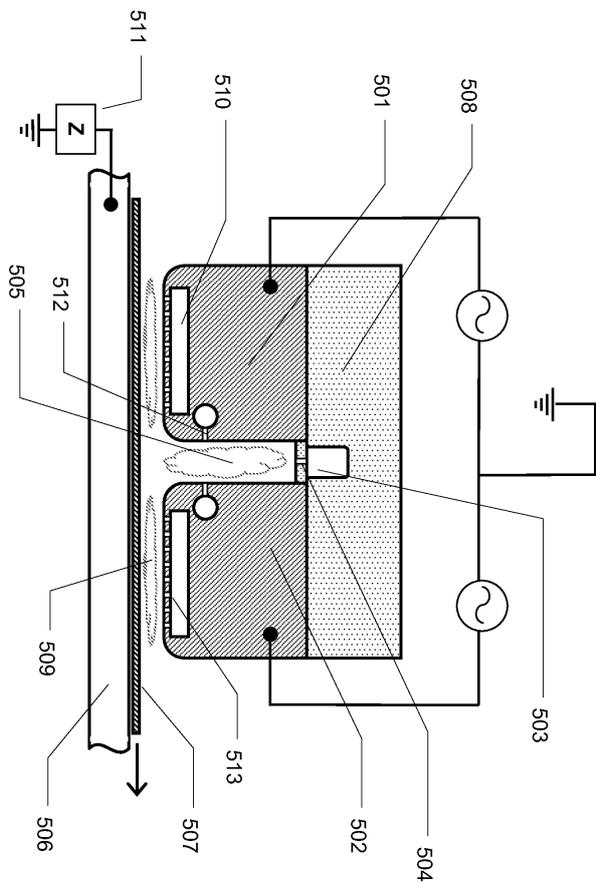
도면4k



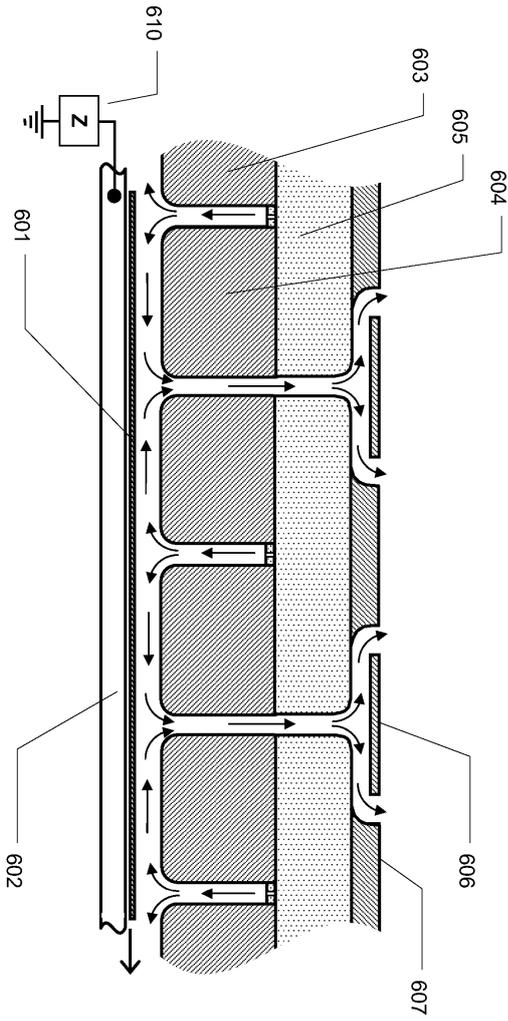
도면4l



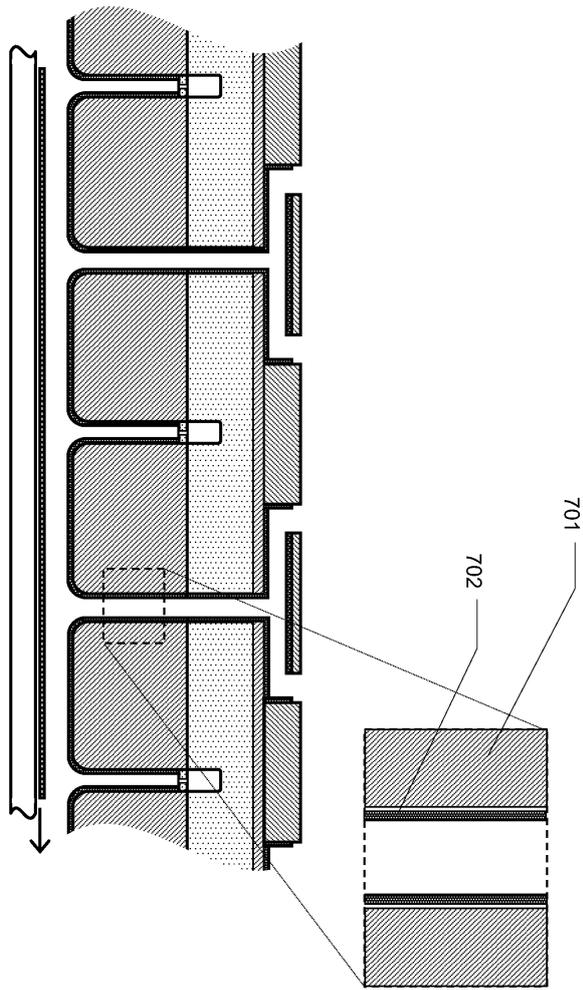
도면5



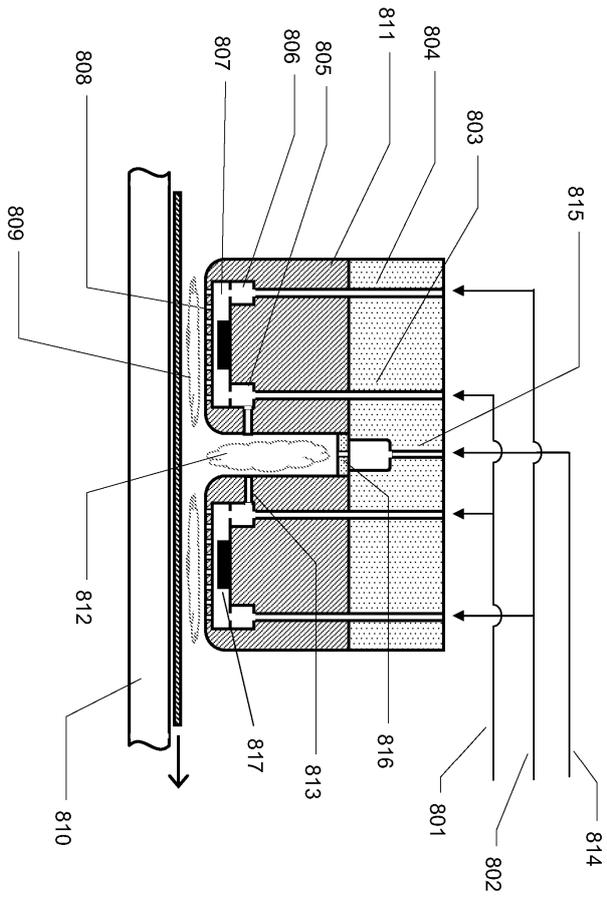
도면6



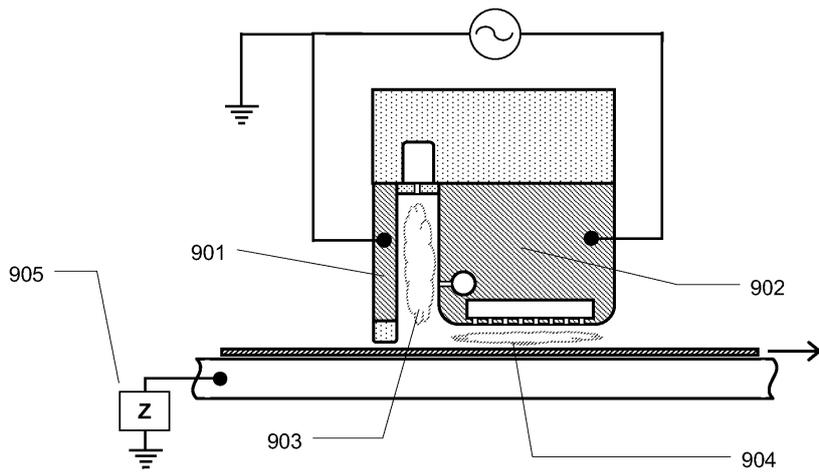
도면7



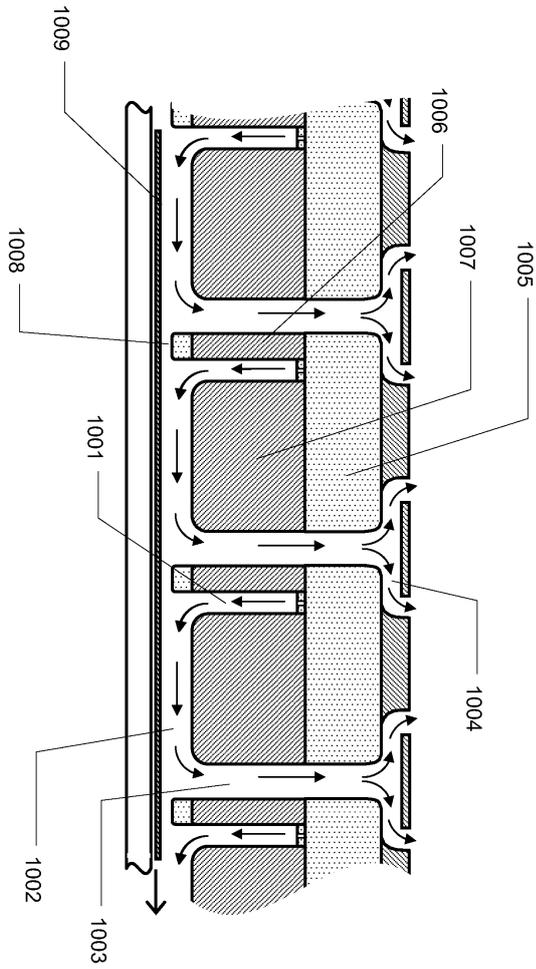
도면8



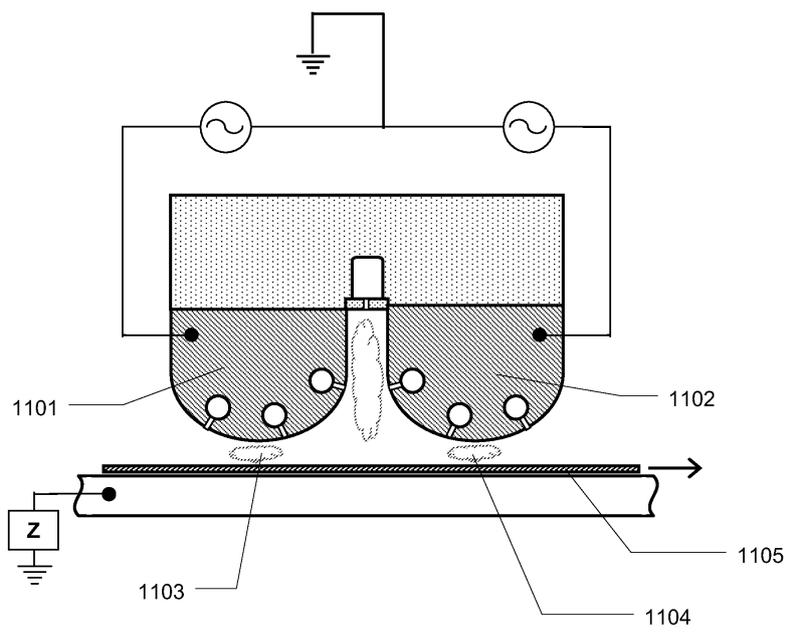
도면9



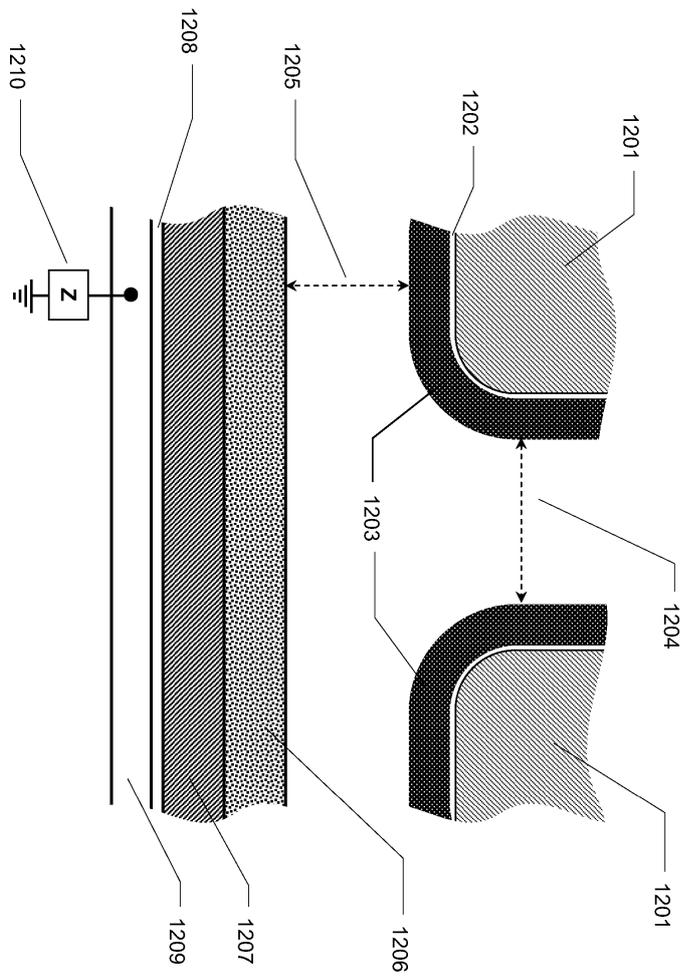
도면10



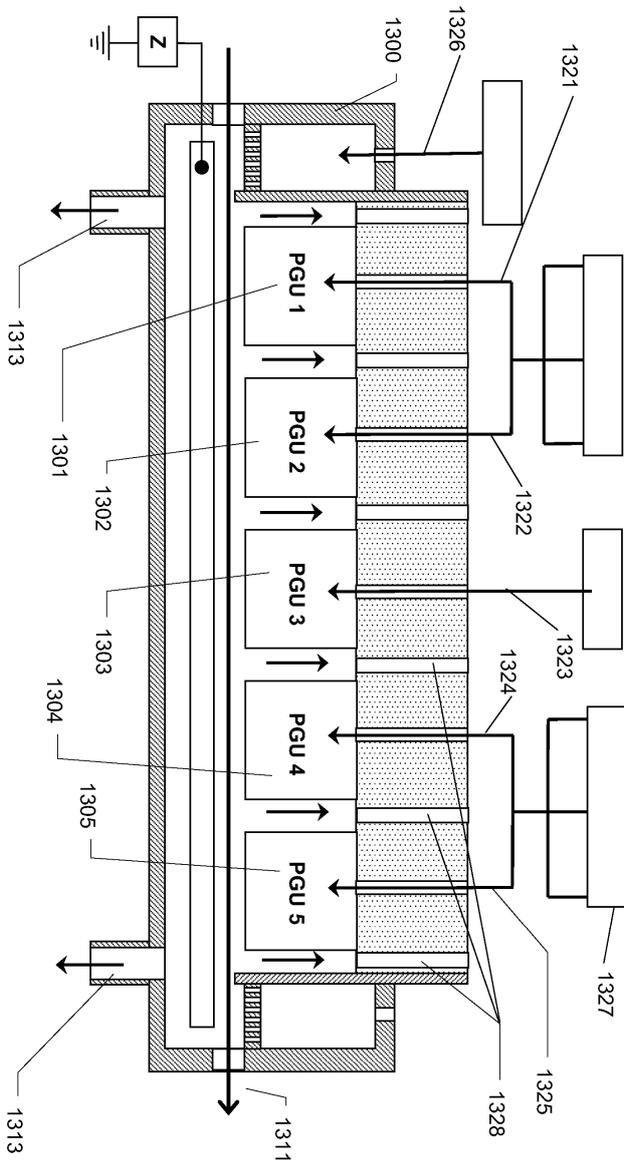
도면11



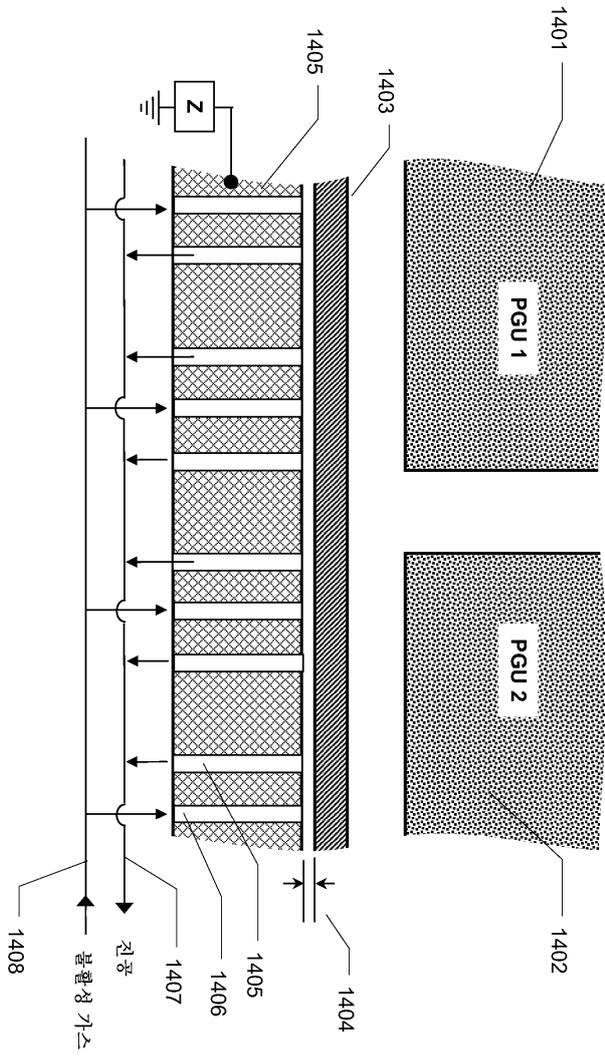
도면12



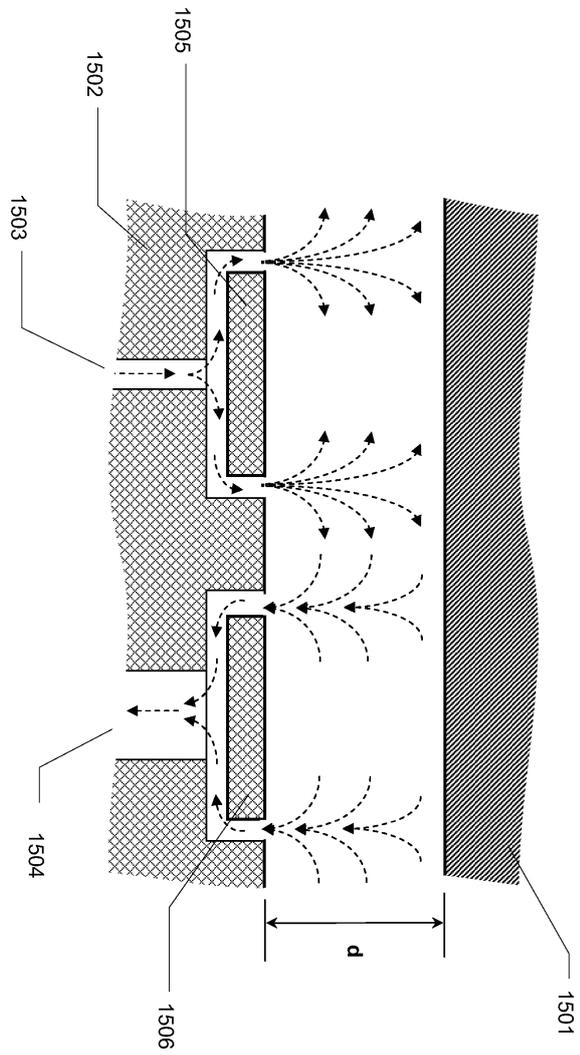
도면13



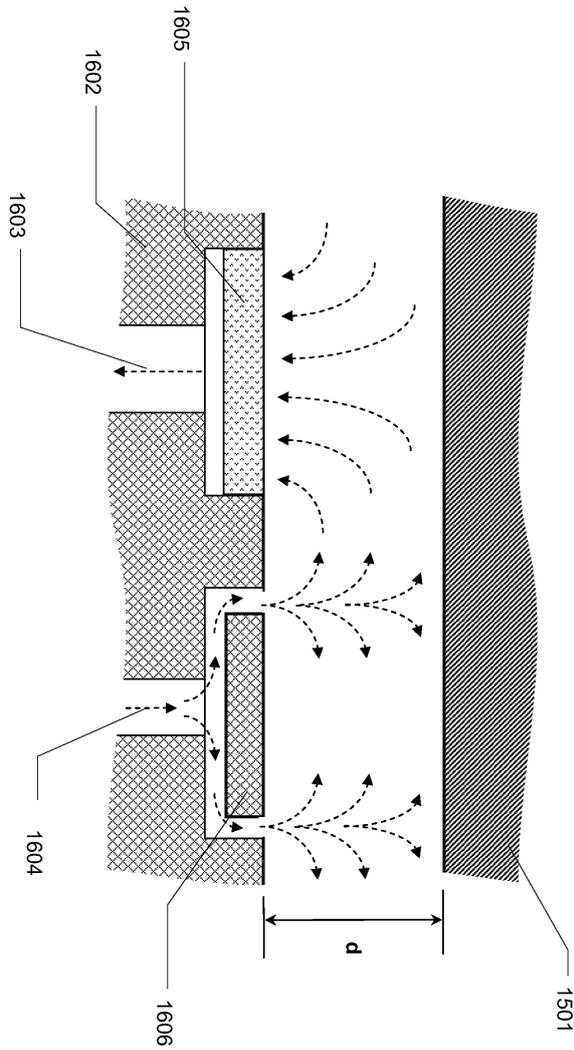
도면14



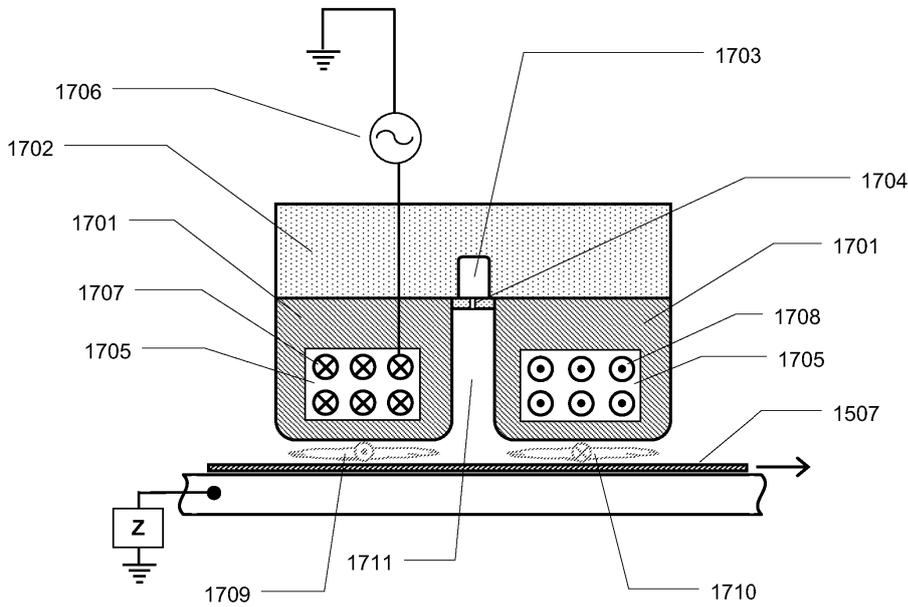
도면15



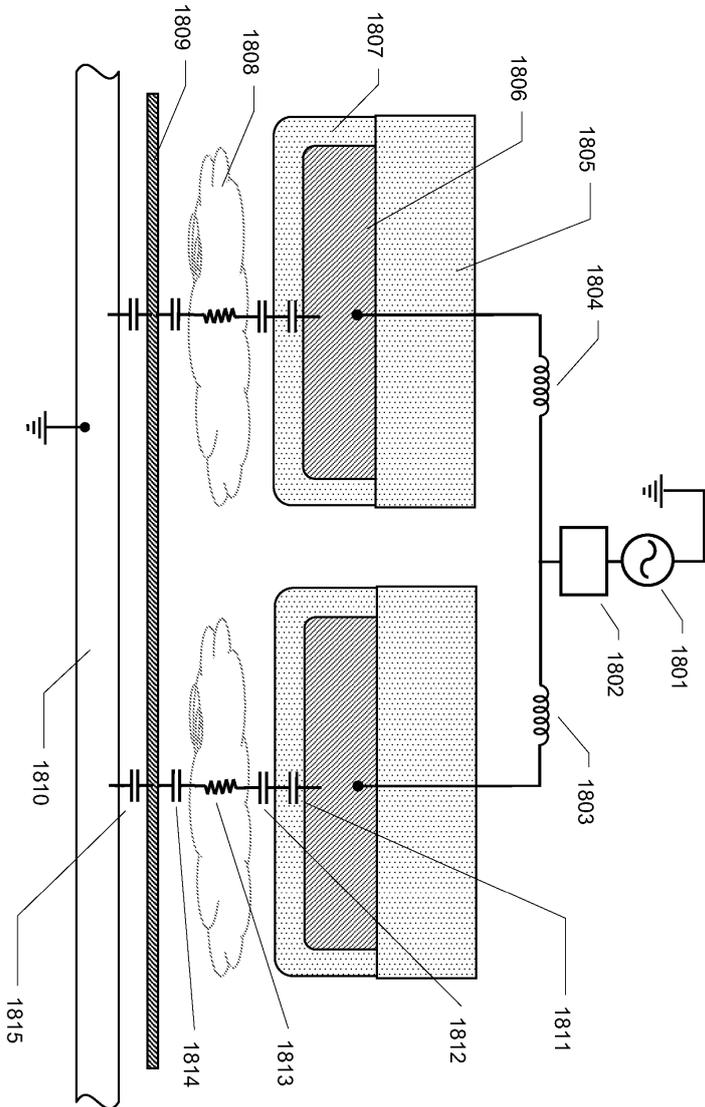
도면16



도면17

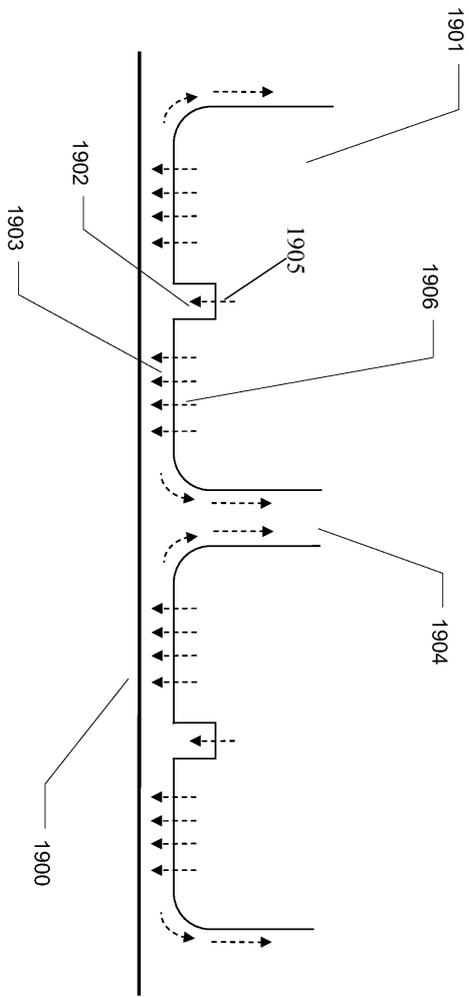


도면18

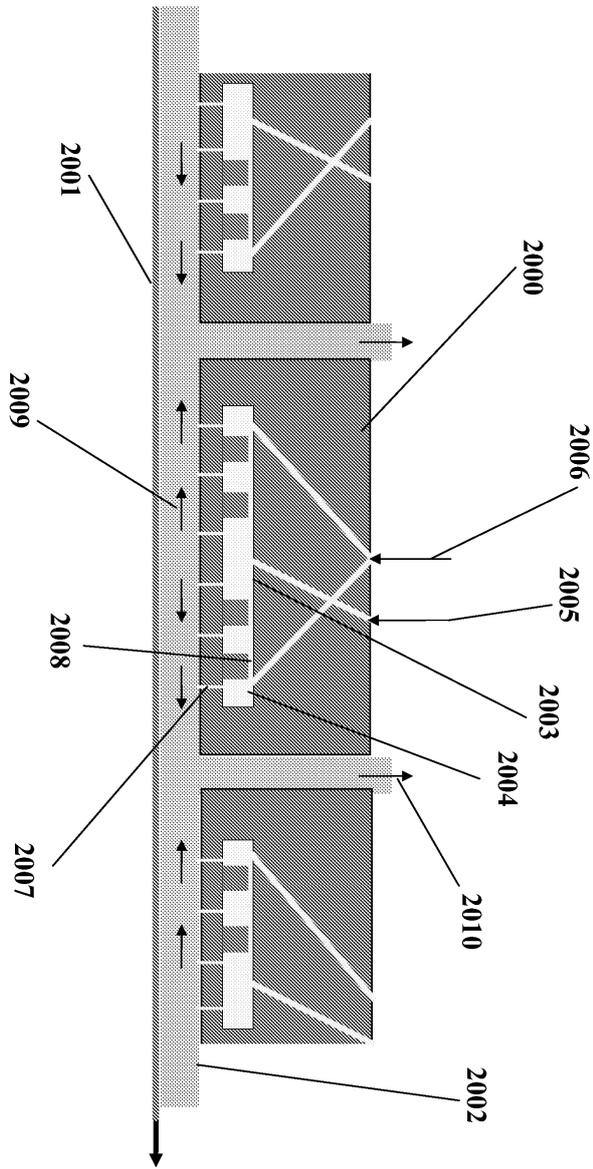


주석: 축척에 맞지 않게 도시됨

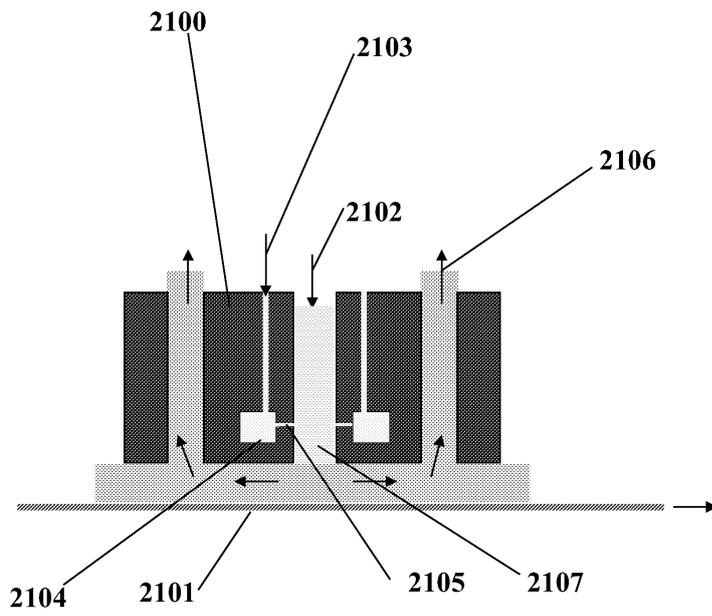
도면19



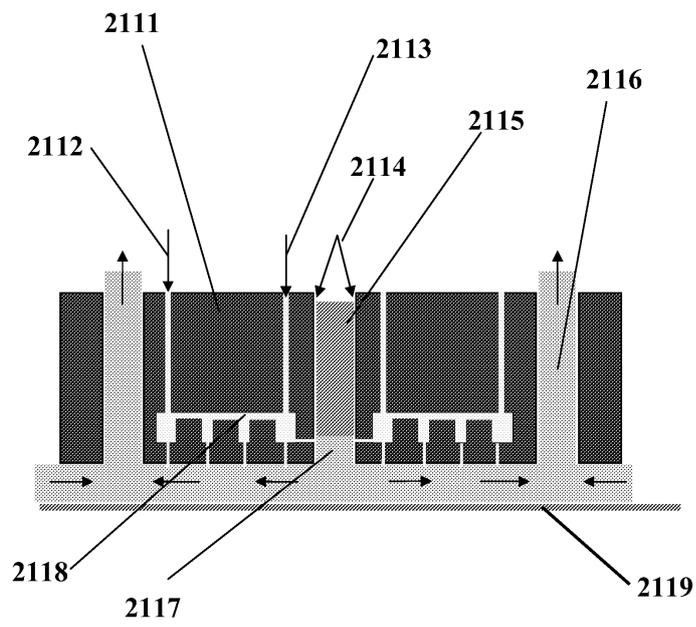
도면20



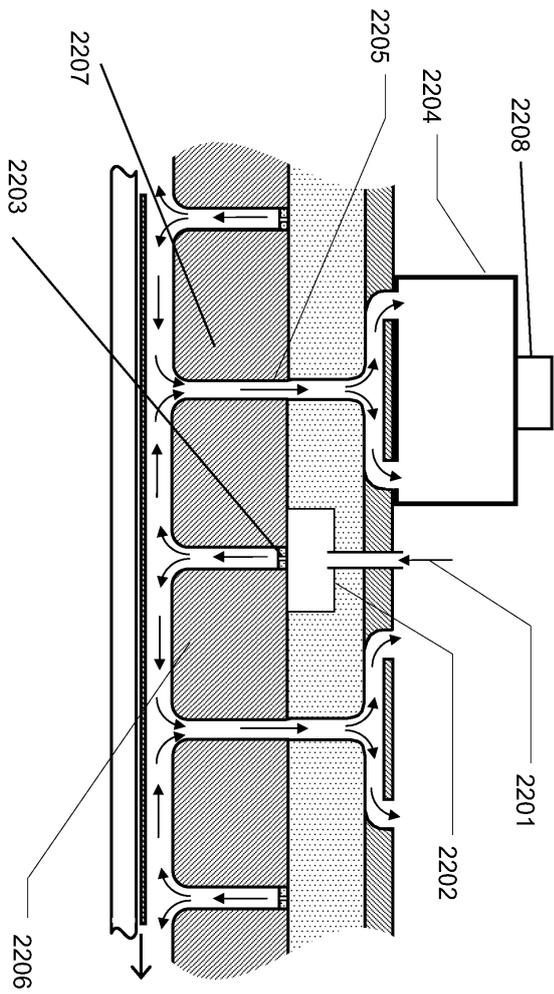
도면21a



도면21b



도면22



도면23

