



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

(45) 공고일자 2010년01월27일  
(11) 등록번호 10-0938784  
(24) 등록일자 2010년01월19일

(51) Int. Cl.  
*H01J 37/32* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2003-7012841  
(22) 출원일자 2002년03월29일  
심사청구일자 2007년03월26일  
(85) 번역문제출일자 2003년09월30일  
(65) 공개번호 10-2004-0018343  
(43) 공개일자 2004년03월03일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2002/009565  
(87) 국제공개번호 WO 2002/80221  
국제공개일자 2002년10월10일

(30) 우선권주장  
09/821,027 2001년03월30일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌  
W00000993 A1\*  
W00119144 A1\*  
US6136139\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**램 리써치 코퍼레이션**  
미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650

(72) 발명자  
**첸, 지안, 제이**  
미국캘리포니아94555, 프레몬트, 베인코몬34561  
**벨트롭, 로버트, 지**  
미국인디애나주83616-3992, 이글, 노쓰스톤크레스트 플레이스2386  
**웍커, 토마스, 이**  
미국네바다주르노, 페어뷰로드4430

(74) 대리인  
**특허법인코리아나**

전체 청구항 수 : 총 17 항

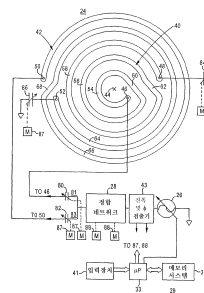
심사관 : 김성훈

**(54) 복수의 권선들을 갖는 코일을 구비하는 유도성 플라즈마프로세서 및 플라즈마 밀도의 제어방법**

**(57) 요약**

유도성 플라즈마 프로세서는, (1) 공급되는 RF 전력의 양이 다르고, (2) 처리된 피가공물상에 입사하는 플라즈마 플럭스 분포를 제어하기 위해 챔버내에서 플라즈마의 다른 영역에 대해 다른 연결을 가지는 전자기장을 생성하도록 배열되는, 복수의 전기적 병렬이고, 공간적 동심 권선을 가지는 다중 권선 무선 주파수 코일을 포함한다. 코일에는, 단일 정합 네트워크를 통해서 단일 무선 주파수 발생기에 의해 전력이 공급된다. 각 권선의 입력 및 출력 단부는 입력 및 출력 동조 커패시터에 각각 접속되어 있다. 제1 실시예에 있어서, 플라즈마로의 무선주파수의 최대 유도성 연결 위치 및 각 권선에서의 전류 크기는, 각각 출력 및 입력 커패시터의 값에 의해 주로 결정된다. 모든 입력 및 출력 커패시터를 동시에 조절함으로써, 하나의 권선에 대한 전류는, 이들 권선이 완전히 분리되어 독립하는 것과 같이, 다른 권선에 대한 전류가 일정하게 유지되는 동안 변화될 수 있다. 그러므로, 커패시터는 다른 방사상 및 방위각 영역에서의 플라즈마 밀도를 제어할 수 있다. 다른 실시예에 있어서, 비교적 저주파수로 코일을 구동하므로, 각각의 권선은 비교적 짧은 전기적 길이를 가져, 실질적으로 작은 정재파 전류 및 전압 변동을 일으킨다. 각 권선마다의 출력 커패시터는 전류 크기를 조절하여, 입력 커패시터에 대한 필요성을 제거하고, 조작상의 복잡성을 감소시킨다.

**대표도 - 도2**



**특허청구의 범위**

청구항 1

삭제

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

청구항 13

삭제

청구항 14

삭제

청구항 15

삭제

청구항 16

삭제

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

삭제

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

피가공물을 처리하는 유도성 플라즈마 프로세서로서,

복수의 병렬 접속된 권선들을 포함하는 플라즈마 여기 코일;

상기 권선들에 전력을 공급하는 소스로서, 상기 소스는 상기 소스로부터 상기 권선들로 전류가 병렬로 흐르도록 상기 권선들에 연결되는, 상기 소스;

상기 소스로부터 상기 권선들 각각으로 흐르는 전류를 가변시키기 위하여 상기 권선들에 각각 연결되는 가변 임피던스 배열들; 및

상기 소스가, 상이한 전자기장의 분포들을 위해, 상이한 양의 총 전력 및 상이한 상대 전류를 상기 권선들에 공급할 수 있게 구성되도록, 상기 소스 및 콤포넌트에 연결되는 컨트롤러로서, (a) 상기 소스의 총 출력 전력 및 상기 소스가 상기 권선들에 공급하는 총 전력을 직접적으로 가변시키고 (b) 상기 가변 임피던스 배열들의 콤포넌트의 값을 가변시키는 컨트롤러를 포함하고,

상기 소스는 RF 소스이고,

상기 컨트롤러는 총 전력 및 가변 임피던스 배열들을 가변하기 위해 구성되어, 상이한 권선들에 의해 생성되고 상이한 권선들에 의해 플라즈마에 공급되는 상이한 전자기장의 분포들을 위해, 상기 권선들 중 하나로 흐르는 전류는 일정하게 유지하고, 상기 코일의 나머지에 흐르는 전류는 변경되도록 하고,

상기 권선들 각각은 제 1 및 제 2 단자를 포함하고,

상기 가변 임피던스 배열들 각각은 제 1 및 제 2 가변 커패시터들을 포함하고,

상기 제 1 가변 커패시터들 각각은 상기 RF 소스로부터 상기 권선들 각각에 RF 에너지를 공급하기 위해 상기 권선들 각각의 제 1 단자에 직렬로 연결되고,

상기 제 2 가변 커패시터들 각각은 상기 권선들 각각의 제 2 단자와 그라운드 사이에 직렬로 연결되고, 상기 컨트롤러는 상기 제 1 및 제 2 가변 커패시터들의 값을 가변하도록 구성되는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 26**

제 25 항에 있어서,

상기 가변 임피던스 배열들 각각은 상기 권선들 각각에 연결되는 가변 리액턴스를 포함하고,

상기 가변 임피던스 배열들 각각의 상기 가변 리액턴스는 상기 권선들 각각에서 정재파 전류의 최대 진폭의 위치가 가변하도록 구성되고,

상기 컨트롤러는 상기 가변 임피던스 배열들 각각의 상기 가변 리액턴스의 값을 가변시키도록 구성되는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 27**

제 26 항에 있어서,

상기 소스는 RF 소스이고, 상기 RF 소스의 주파수 및 상기 권선들의 길이는 상기 권선들 각각의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류 변동이 있도록 하는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 28**

제 25 항에 있어서,

상기 가변 임피던스 배열들 각각은 상기 권선들 각각에 연결되는 가변 리액턴스를 포함하고,

상기 가변 임피던스 배열들 각각의 상기 가변 리액턴스는 상기 권선들 각각에서 정재파 RF 전류의 최대 진폭의 값을 가변시키도록 구성되고,

상기 컨트롤러는 상기 가변 임피던스 배열들 각각의 상기 가변 리액턴스의 값을 변화시키도록 구성된, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 29**

제 28 항에 있어서,

상기 소스는 RF 소스이고,

상기 RF 소스의 주파수 및 상기 권선들의 길이는 상기 권선들 각각의 길이를 따라 실질적인 정재파 변동이 없도록 되는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 30**

제 25 항에 있어서,

상기 소스는 RF 소스이고,

상기 가변 임피던스 배열들 각각은 제 1 및 제 2 가변 커패시터들을 포함하고,

상기 제 1 가변 커패시터들 각각은 상기 RF 소스로부터 상기 권선들 각각에 RF 에너지를 공급하기 위해 상기 권선들 각각의 제 1 단자에 직렬로 연결되고,

상기 제 2 가변 커패시터들 각각은 상기 권선들 각각의 제 2 단말과 그라운드 사이에서 직렬로 연결되고,

상기 컨트롤러는 상기 제 1 및 제 2 가변 커패시터들의 값을 가변시키도록 구성되는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 31**

제 30 항에 있어서,

상기 제 1 및 제 2 가변 커패시터들은 상기 제 1 및 제 2 가변 커패시터의 값들이 상기 권선들 각각에서의 정재

파 RF 전류의 최대 진폭의 크기 및 위치를 제어하도록 구성되는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 32**

제 25 항에 있어서,

상기 소스는 RF 소스이고,

상기 RF 소스의 주파수 및 상기 권선들의 길이는 상기 권선들 각각의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류 변동이 없도록 되고,

가변 임피던스 배열 각각은 상기 권선들 각각과 연결되는 하나의 가변 리액턴스를 포함하고,

상기 컨트롤러는 상기 권선들 각각에서 정재파의 최대 진폭을 제어하기 위해 상기 가변 리액턴스의 값을 가변시키도록 구성되는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 33**

제 32 항에 있어서,

상기 소스는 RF 소스이고,

상기 RF 소스의 주파수 및 상기 권선들의 길이는 상기 권선들 각각의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류 변동이 없도록 되고,

상기 권선들 각각과 연결되는 상기 가변 리액턴스는 상기 권선들 각각의 정재파 전류의 값을 제어하도록 구성되는, 유도성 플라즈마 프로세서.

**청구항 34**

피가공물을 처리하는 진공 플라즈마 프로세서로서,

복수의 병렬 접속된 권선들을 포함하는 플라즈마 여기 코일;

상기 권선들에 전력을 공급하는 소스로서, 상기 소스는 상기 소스로부터 상이한 병렬 전류가 상기 권선들에서 흐르게 하기 위하여 상기 권선들에 연결되는, 상기 소스;

상기 권선들에 각각 연결된 임피던스 배열들; 및

상기 임피던스 배열들의 값을 가변시키는 컨트롤러를 포함하고,

상기 소스의 전력 및 상기 임피던스 배열들의 리액턴스의 값은 (a) 상기 권선들 중 하나에서 정재파 전류의 최대 진폭이 상기 코일의 나머지에서 정재파 전류의 최대 진폭과 상이하고 (b) 인접 권선들이 방사상으로 서로 반대되는 정재파 전류 최대치를 갖도록 되는, 진공 플라즈마 프로세서.

**청구항 35**

제 34 항에 있어서,

상기 권선들 각각은 전자기장을 챔버 내의 플라즈마와 연결하도록 구성되고,

상기 권선들 중 하나의 권선은 상기 하나의 권선에 의해 생성된 전자기장이 상기 챔버 주위 벽에 근접하도록 위치되는 외부 권선이고,

상기 코일의 나머지는 상기 코일의 나머지에 의해 생성된 전자기장들이 상기 챔버 주위 벽에서 떨어져 있도록 구성되며,

상기 컨트롤러는, 상기 소스가 상기 코일에 공급하는 총 전력의 값 및 상기 리액턴스의 값이, 상기 외부 권선에 의해 생성된 전자기장이 상기 코일의 나머지에 의해 생성된 전자기장을 초과하도록 하는 값들이 되도록 더 구성되는, 진공 플라즈마 프로세서.

**청구항 36**

제 34 항에 있어서,

상기 권선들 각각은 전자기장을 챔버 내의 플라즈마에 연결하도록 구성되고,

상기 권선들 중 하나의 권선은 상기 하나의 권선에 의해 생성된 전자기장이 상기 챔버 주위 벽에 근접하도록 위치되는 외부 권선이고,

상기 코일의 나머지는 상기 코일의 나머지에 의해 생성된 전자기장들이 상기 챔버 주위 벽에서 떨어져 있도록 배열되며,

상기 컨트롤러는, 상기 소스가 상기 코일에 공급하는 총 전력의 값 및 상기 리액턴스의 값이, 상기 외부 권선에 의해 생성된 전자기장이 상기 코일의 나머지에 의해 생성된 전자기장 미만이 되게 하는 값들이 되도록 더 구성되는, 진공 플라즈마 프로세서.

### 청구항 37

제 34 항에 있어서,

상기 권선들 각각은 전자기장을 챔버 내의 플라즈마에 연결하도록 구성되고,

상기 권선들 중 하나는 상기 하나의 권선에 의해 생성된 전자기장들이 상기 챔버 주위 벽에 근접하도록 위치되는 외부 권선이고,

상기 코일의 나머지는 상기 코일의 나머지에 의해 생성된 전자기장들이 상기 챔버 주위 벽에서 떨어져 있도록 배열되며,

상기 컨트롤러는, 상기 소스가 상기 코일에 공급하는 총 전력의 값 및 상기 리액턴스의 값이, 상기 외부 권선에 의해 생성된 전자기장이 상기 코일의 나머지에 의해 생성된 전자기장과 동일하도록 하는 값들이 되도록 더 구성되는, 진공 플라즈마 프로세서.

### 청구항 38

피가공물을 처리하는 진공 플라즈마 프로세서로서,

복수의 병렬 접속된 권선들을 포함하는 플라즈마 여기 코일;

상기 권선들에 전력을 공급하는 소스; 및

상기 권선들에 각각 연결되는 임피던스 배열들을 포함하고,

상기 소스의 주파수, 상기 임피던스 배열들 및 상기 권선들의 길이는 상기 권선들 각각의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류 변동이 없도록 되고,

상기 권선들 각각에 의해 상기 플라즈마에서 생성되는 균등한 방위각의 전기장이 있으며,

상기 권선들 각각과 연결되는 상기 임피던스 배열들은 상기 권선들 각각에서의 정재파 전류의 값을 제어하도록 구성되는, 진공 플라즈마 프로세서.

### 청구항 39

피가공물을 처리하는 진공 플라즈마 프로세서로서,

하나 이상의 권선을 포함하는 플라즈마 여기 코일;

상기 하나 이상의 권선에 전력을 공급하는 소스;

상기 하나 이상의 권선에 각각 연결되는 임피던스 배열들; 및

상기 소스의 주파수, 상기 임피던스 배열들 및 상기 하나 이상의 권선의 길이는 상기 하나 이상의 권선의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류 변동이 없도록 되고,

상기 하나 이상의 권선에 의해 상기 플라즈마에서 생성되는 균등한 방위각의 전기장이 있는, 진공 플라즈마 프로세서.

### 청구항 40

제 39 항에 있어서,

상기 코일은 복수의 병렬 접속된 권선들을 포함하고,

상기 권선들 각각은 상기 권선의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류 변동이 없고,

상기 권선들과 각각 연결되는 임피던스 배열들을 더 포함하고,

상기 권선들 각각과 연결되는 상기 임피던스 배열들은 상기 권선들 각각에서의 전류의 값을 제어하도록 구성되는, 진공 플라즈마 프로세서.

**청구항 41**

제 39 항에 있어서,

상기 하나 이상의 권선에서의 전류의 값을 제어하는, 상기 하나 이상의 권선과 연결되는 임피던스 배열을 더 포함하는, 진공 플라즈마 프로세서.

**명세서**

**기술분야**

<1> 본 발명은, 통상적으로 RF 플라즈마 여기 코일을 포함하는 유도성 플라즈마 피가공물(workpiece) 프로세서에 관한 것으로서, 더 상세하게는, (1) 복수의 권선에 공급되는 상이한 양의 RF 전력을 갖고, (2) 처리된 피가공물상에 입사하는 플라즈마 플럭스(flux) 분포를 제어하기 위해, 다른 플럭스 크기들을 갖는 RF 자장들을 챔버내의 플라즈마로 공급하도록 배열된 복수의 권선을 코일이 포함하는 프로세서 및 그 동작방법에 관한 것이다. 또한, 본 발명은 권선에 흐르는 전류의 진폭을 제어하기 위해 임피던스 배열들에 접속된 복수의 병렬 전기적 단락 권선을 갖는 코일을 포함하는 유도성 플라즈마 피가공물 프로세서에 관한 것이다. 또한, 본 발명은, 최적의 피가공물 처리를 위해 코일의 한 권선이 코일의 다른 권선에 관하여 위치되는 유도성 플라즈마 프로세서의 제조방법에 관한 것이다.

**배경기술**

<2> 유도성 플라즈마 프로세서는, 진공 챔버내에서 RF 플라즈마로 피가공물을 처리하며, RF 소스에 응답하는 코일을 포함한다. 평면형(planar) 또는 구형(spherical) 또는 돔(dome) 형태로 될 수 있는 코일은, RF 소스에 의해 구동되어, 챔버내에서 이온화 할 수 있는 가스를 여기하여 플라즈마를 생성하는 전자기장을 발생시킨다. 대개, 코일은 처리된 피가공물의 평면적인 수평 연장표면과 대체로 평행한 방향으로 연장하는 유전 윈도우 위에 있거나 또는 인접한다. 여기된 플라즈마는 챔버내의 피가공물과 상호 작용하여 피가공물을 에칭하거나 또는 피가공물상에 재료를 증착(deposit)한다. 전형적으로, 피가공물은 평면적인 원형 표면을 가지는 반도체 웨이퍼 또는, 예를 들면 플랫폼 패널 디스플레이에서 사용되는 직사각형 유리기관과 같은 고체의 절연체 플레이트 또는 금속 플레이트이다.

<3> 오글(Ogle)의 미국특허 4,948,458호는 상기 결과들을 달성하기 위한 다중 턴 나선 평면 코일을 개시하고 있다. 일반적으로 아르키메데스형인 나선은 임피던스 정합 네트워크를 통해 RF 소스에 접속되는 내부 단자들과 외부 단자들 사이에서 방사상으로 그리고 원주상으로 연장한다. 코일은 윈도우 가까이에 있는 플라즈마 챔버의 부분에서 전자들 및 이온들을 여기하는 유전 윈도우를 관통하는 자기장 및 전기장 성분들을 갖는 진동 RF 필드들을 발생시킨다. 윈도우 가까이에 있는 플라즈마 부분 내의 자기장의 공간분포는 코일의 각 지점에서 전류에 의해 발생하는 각각의 자기장 성분의 총합의 함수이다. 전기장의 용량성 성분이 코일 내 RF 전압에 의해 발생되는데 반해, 전기장의 유도성 성분은 시변 자장에 의해 발생된다. 용량성 전기장이 피가공물에 대해 수직인 데 반해, 유도성 전기장은 방위각(azimuthal)이다. RF 소스의 주파수에서의 코일의 전송선 효과로 인해, 전류 및 전압은 상이한 지점들에서 상이하다.

<4> 오글의 '458 특허에 개시되고 이에 기초한 나선형 디자인에 있어서, 나선코일내 RF 전류는 전력이 가스에 의해 흡수되어 가스를 플라즈마로 여기시키는, 윈도우 가까이에 있는 환상(toroidal) 플라즈마를 초래하는 환형 전기장을 발생시키도록 분포된다. 환형의 자장에는, 환형의 플라즈마 분포를 발생시키는 링(ring) 형태의 전기장이 수반된다. 1.0~10mTorr 범위의 저압에 있어서, 플라즈마 밀도가 피크가 되는 환형의 영역으로부터의 플라즈마의 확산은, 플라즈마 불균일성을 보상하는 경향이 있고, 피가공물 중심 바로 위의 챔버 중앙에서 플라즈마 밀도를

증가시킨다. 그러나, 일반적으로 확산만으로는 챔버 벽에 대한 플라즈마 손실을 충분히 보상할 수 없고, 피가공물 주위의 플라즈마 밀도는 독자적으로 변경될 수 없다. 10~100mTorr 범위의 중간 압력에 있어서, 플라즈마에서의 전자, 이온 및 중성자의 가스 상태의 충돌은, 환상 영역으로부터 플라즈마 대전 입자의 실질적인 확산을 더 방지한다. 그 결과, 피가공물의 링 형태의 영역에서는 비교적 플라즈마 밀도가 높지만, 피가공물의 중심 부분 및 주위 부분에서는 플라즈마 밀도가 낮다.

- <5> 이러한 다른 동작 조건들은, 피가공물 홀더의 평면(즉, 챔버 축)에 대해 직각인 챔버의 중심선에 대해서 다른 방위각도는 물론, 내부 환상체와 외부 환상체 사이에서 큰 플라즈마 플럭스(즉, 플라즈마 밀도) 변동을 실질적으로 초래한다. 이러한 플라즈마 플럭스 변동들은, 피가공물상에 입사하는 플라즈마 플럭스의 실질적인 표준편차, 즉 6% 초과를 초래한다. 피가공물상에 입사하는 플라즈마 플럭스의 실질적인 표준편차는 불균일 피가공물처리를 야기하는 경향이 있다, 즉, 피가공물의 다른 부분이 다른 정도로 예칭되고 및/또는 그 위에 증착되는 물질의 양을 다르게 한다.
- <6> 다수의 코일이 플라즈마의 균일성을 개선시키기도록 설계되었다. 1998년 6월 2일자로 등록된, 통상적으로 양도된 홀랜드(Holland) 등의 미국특허 제5,759,280호에서는, 상업적 실시예에서 12인치의 직경을 가지고, 14.0인치의 내벽 원형 직경을 가지는 진공 챔버와 연결하여 동작되는 코일을 개시한다. 코일은, 14.7인치의 직경 및 0.8인치의 균일한 두께를 갖는 석영(quartz) 윈도우를 통해서 챔버 내부로 자장 및 전기장을 인가한다. 원형 반도체 웨이퍼 피가공물은, 각 피가공물의 중심이 코일의 중심선 및 챔버 중심선과 일치하도록 윈도우의 하면에서 약 4.7인치 아래의 피가공물 홀더 상에 위치된다.
- <7> '280 특허의 코일은, '458 특허의 코일보다 피가공물에 걸쳐 상당히 더 작은 플라즈마 플럭스 변동을 생성한다. 5 milliTorr로 동작하는 챔버내의 200mm 웨이퍼상에서 '280 특허의 코일에 의해 생성된 플라즈마 플럭스의 표준편차는, 동일한 조건하에서 동작하는 '458 특허의 코일에 대한 표준편차 보다 상당히 개선된다. '280 특허의 코일은, 피가공물 중심에서의 플라즈마 밀도가 피가공물의 중간 부분보다 크고, 차례대로 피가공물 주위에서의 플라즈마 밀도를 초과하도록 자장을 발생시킨다. '280 특허의 코일에 대한 챔버의 다른 부분에서의 플라즈마 밀도 변동은, 보다 낮은 표준편차를 생성하는 것과 동일한 동작 조건에서 '458 특허의 코일보다 훨씬 작다.
- <8> 또한, 피가공물상에 입사하는 플라즈마 밀도의 균일성을 개선하도록 안내되는 다른 배열들은 일반적으로 코일 기하학적 배열(coil geometry)에 관련된 기하학 원리들에 집중되어 왔다. 예를 들면, 미국특허 제5,304,279호, 제5,277,751호, 제5,226,967호, 제5,368,710호, 제5,800,619호, 제5,401,350호, 제5,558,722호, 제5,795,429호, 제5,847,074호 및 제6,028,395호를 참고할 수 있다. 그러나, 이러한 코일들은 일반적으로, 향상된 방사 플라즈마 플럭스 균일성을 제공하고, 무시되는 방위각 플라즈마 플럭스 균일성을 상당히 갖도록 설계되어 왔다. 게다가, 이러한 코일의 고정된 기하학적 배열들은, 다른 처리 레시피들(recipe)들을 위해 플라즈마 유속 분포가 변경되는 것을 허용하지 않는다. 1999년 6월 30일자로 출원된, "가변진폭 RF 포락선(envelope)에 응답하는 코일을 구비한 플라즈마 프로세서(Plasma Processor with Coil Responsive to Variable Amplitude RF Envelope)"로서 통상적으로 양도된 공동 계류중인 홀랜드의 미국 출원번호 09/343,246 및 게이트(Gate)의 미국특허 제5,731,565호에서는, 다른 처리 레시피들을 위해 플라즈마 플럭스 균일성을 자유롭게 제어하는 전자적 배열들을 개시하는 것을 알 수 있지만, 홀랜드 및 게이트의 발명들은 방위각보다 오히려 방사상인 플라즈마 플럭스 균일성에 주로 관련되어 있다. 홀랜드의 발명에 있어서, 플라즈마 플럭스 균일성의 제어는, RF 여기 소스가 코일로 인가되는 가변진폭 포락선을 제어함으로써 달성된다. 게이트의 발명에 있어서, 스위치 또는 커패시터는 나선형 RF 플라즈마 여기 코일의 내부 부분을 분로(shunt)시킨다.
- <9> 주파수, 즉, 코일을 구동하는 RF전원의 파장의 역수(전형적으로, 13,56MHz) 및 코일의 길이들은, 특정 권선의 길이에 따라 상당한 정재파 전류 및 전압 변동들이 존재하도록 되어 있다. 정재파 전류를 거의 50% 변화시킬 수 있을 동안, 전압의 크기는 약 1,000볼트(rms)에서 거의 0볼트까지 변화시킬 수 있다. 그러므로, 각 권선의 길이를 따라 어딘가에 피크 전압 및 전류가 있다. 그러나, 우리는 종래기술이 전기적 단락 플라즈마 여기 코일을 구동하는 RF 소스를 포함하고 있다는 것을 알고 있다.
- <10> "플라즈마 발생시스템에 유도적으로 연결된 다중코일 안테나(Multiple Coil Antenna for Inductively Coupled Plasma Generation Systems)"라는 명칭의 미국특허 제6,164,241호에서는, 각 권선의 입력 및 출력단자로 간주될 수 있는, 각각 제1 및 제2 단자를 가지는 2개의 동심적인 전기적 병렬 권선들을 포함하는 다른 코일을 개시한다. 각각의 제1 단자는 RF 전원에 의해 구동된 정합 네트워크의 출력단자에 제1 직렬 커패시터를 통해 접속된다. 각각의 제2 단자는 제2 직렬 커패시터를 통해 정합 네트워크 및 RF 소스의 공통 접지단자에 접속된다. 각각의 권선은, 2개 권선의 공통 축에 대해서 나선형 방식으로 원주상으로 그리고 방사상으로 연장되는 단일 턴



(turn) 또는 복수의 턴을 포함할 수 있다. 각각의 권선은 평면적이거나 3차원(즉, 구형 또는 돔형)이고, 또한 단일 권선의 개개 턴들은 특정한 권선에 의해 플라즈마와 연결된 자속의 양을 증가시키기 위해 서로 적층될 수 있다.

<11> 각 권선의 제2 단자와 접지 사이에서 접속된 제2 커패시터의 값은, 통상적으로 본 발명과 함께 양도된, 홀랜드 등의 미국특허 제5,759,280호에 개시된 바와 같이, 각 권선에서 전압 및 전류의 극치(즉, 최대 및 최소)의 위치를 설정한다. 커패시터의 값이 각각의 권선에서 RF 정재파 전류 및 전압의 최대치의 위치를 결정하기 때문에, 각 권선의 제2 커패시터의 값을 제어하여, 플라즈마에 대해서 코일에 의해 생성된 자속의 분포 및 피가공물상으로 입사하는 플라즈마 플럭스를 제어한다. 제1 커패시터의 값은, 각 권선에서 정재파 전류 및 전압의 최대 크기를 결정한다. 또한, 제1 커패시터의 값은, RF 소스와 그것이 구동하는 부하 사이에서 동조된(tuned) 조건을 유지하는데 도움이 되도록 조절되며, 그 부하는 주로 코일 및 상기 코일에 연결된 플라즈마 부하이다. 각 권선에서 정재파 전류의 최대 크기 및 위치를 조절하여, 챔버의 다른 방사상 및 방위각 영역에서 플라즈마 밀도를 제어한다.

<12> 어떤 경우에는, 권선들 중 하나의 권선에서 전류를 비교적 일정하게 유지하면서 코일의 나머지 권선에서 전류를 변화시키는 것이 바람직하다. RF 전류가 자장을 발생시키고, 자유 공간에서의 시변 자장이 유도성 전기장을 생성하여, 차례대로 플라즈마를 발생시켜, 구동 RF 전류의 미러 이미지인 플라즈마 "이미지(image)" 전류를 유도한다. 권선들 중 하나의 권선에서의 전류를 비교적 일정하게 유지함으로써, 코일의 나머지 권선에 의해 생성되어 플라즈마로 공급되는 전기장에서의 변동에도 불구하고, 그 하나의 권선에 의해 생성되어 챔버내의 플라즈마로 공급되는 전기장이 비교적 일정하게 존속된다. 권선들 중 하나의 권선에 의해 생성된 전기장을 비교적 일정하게 유지하면서, 코일의 나머지 권선에 의해 생성되어 플라즈마로 공급되는 전기장을 변경하여, 피가공물상에 입사하는 플라즈마 밀도에 대한 실질적인 제어를 제공한다. 이와 같은 제어는, 진공챔버를 개방시키지 않고 수행되는, 다른 레시피로 동작하는 처리챔버와 관련되어 특히 유리하다. 이와 같은 챔버는, 다른 조건하에서 다른 시간에 동작한다. 다른 조건의 예로는, 다른 처리가스들, 다른 압력들 및 다른 피가공물들이 있다.

<13> (1) 챔버 주위 및 (2) 챔버 축에 각각 근접한 제1 및 제2 병렬 동심 권선들을 가지는 코일을 고려한다. 제1 및 제2 권선은, 각각, 링 형태의 전기장을 챔버의 주위 부분(챔버 벽에 근접) 및 챔버 중심에 연결한다. 어떤 경우에는, 내부 권선에 흐르는 전류를 다르게 하는 반면에, 외부 권선에 흐르는 전류를 실질적으로 일정하게 유지하는 것이 바람직하다. 이것은 외부 권선이 챔버 주위 부분들에서 실질적으로 일정한 전기장을 생성하게 하는 반면에, 내부 권선은 챔버 중심영역에 다른 전기장을 발생시킨다. 이와 같은 결과는, 이들 권선들이 양쪽 권선들에 가깝게 연결되기 때문에, 각 권선에서의 전체 임피던스 및 총 전력을 동시에 조절함으로써 달성된다. 이 권선들이 근접해서 연결되기 때문에, 각 권선들에서의 전체 임피던스의 변화는 이 권선들 사이의 전력 스플리팅(splitting)뿐 아니라, 전류 스플리팅에서의 변화도 일으킨다. 각 권선에서의 전류는, 어떤 권선에서 임피던스가 변화하는 때 변화된다. 따라서, 하나의 권선에서의 전류는 그 권선에서 전류를 일정하게 유지하기 위해 총 전력을 변경함으로써 보상될 수 있다. 챔버 주변부에서 전기장을 일정하게 유지하는 능력은, 그 영역에서 일정한 전력 축적(deposition)을 유지하고 피가공물의 주변부 상에서 일정한 처리 결과들(예를 들면, 에칭레이트 또는 증착레이트)을 더 일정하게 유지하기 위해 별도의 프로세스 제어 노브(knob)를 초래한다. 이 프로세스 제어는, 프로세스 조건들로 인한 변화들을 보상하는데 특히 유용하다. 상술된 바와 같이, 다른 상황, 특히 다른 압력에서는, 챔버의 주위 부분에서 전기장의 진폭이 변화되는 동안의 기간에 챔버 중심에서 전기장을 실질적으로 일정하게 유지하는 것이 바람직하다. 이 프로세스 제어능력은, 챔버 벽 및 챔버 벽의 접지 부분에 연결된 전기장치에 대한 플라즈마 손실을 보상하는데 특히 유용하다.

<14> 따라서, 본 발명의 목적은 피가공물상에 입사하는 플라즈마 밀도가 자유롭게 제어될 수 있는 새롭게 개선된 진공 플라즈마 프로세서 및 그 동작방법을 제공하는데 있다.

<15> 또한, 본 발명의 목적은 피가공물상에 입사하는 플라즈마 밀도가 비교적 높은 균일성을 가지는 새롭게 개선된 진공 플라즈마 프로세서 및 그 동작방법을 제공하는데 있다.

<16> 또한, 본 발명의 목적은 프로세서의 피가공물상에 입사하는 플라즈마 밀도가 비교적 높은 방위각 균일성을 가지는 새롭게 개선된 진공 플라즈마 프로세서 및 그 동작방법을 제공하는데 있다.

<17> 또한, 본 발명의 목적은 단일 정합 네트워크를 통해서 단일 RF 소스에 의해 구동된 복수의 병렬 권선들을 갖는 코일을 포함하고, 코일에 의해 생성되어 챔버내의 플라즈마와 연결되는 전기장 및 자장들에 대해 개선된 제어를 가지는 새롭게 개선된 진공 플라즈마 프로세서 및 그 동작방법을 제공한다.

- <18> [발명의 개요]
- <19> 본 발명의 하나의 양태에 의하면, 피가공물을 처리하기 위한 진공 플라즈마 프로세서에서 플라즈마 여기 코일에 의해 플라즈마에 연결된 전자기장들의 분포에 대한 개선된 제어방법 및 장치로서, 상기 코일은 유도성 전기장들을 챔버내의 플라즈마에 연결하기 위한 복수의 병렬 권선들을 포함한다. 상기 방법 및 장치에 있어서, (a) 다른 전자기장 분포를 위해, 상이한 양의 총 RF전력이 복수의 권선들에 인가되도록 복수의 권선에 인가된 RF 전력의 총량이 제어되고, (b) 다른 전자기장 분포를 위해, RF 전류의 총량이 개개의 복수의 권선에 인가되도록 개개의 복수의 권선에 인가된 RF 전류의 양이 제어된다.
- <20> 바람직한 실시예에 있어서, 상기 권선은, (a) 권선들 중 하나의 권선은 그것에 의해 발생된 전자기장이 챔버 주위 벽의 근처에 있도록 위치되는 외부 권선이고, (b) 코일의 나머지 권선에 의해 발생된 전자기장이 챔버 주위 벽과 떨어져 있도록 배열된다. 외부 권선에 인가된 RF 전류는, 외부 권선에 의해 발생된 전자기장이 하나의 배열내에서 코일의 나머지 권선에 의해 발생된 전자기장을 초과하도록 제어된다. 제2 배열에 있어서, 외부 권선에 의해 발생된 전자기장이 코일의 나머지 권선에 의해 발생된 전자기장보다 작다. 또 다른 배열에 있어서, 피가공물상에서 매우 균일한 플라즈마 밀도를 초래하여, 코일의 외부 권선 및 나머지 권선에 인가되는 RF 전류는 어느 정도 같다.
- <21> 전류를 제어함으로써, 권선들 중 하나의 권선에 연결된 RF 전력이 다른 전자기장 분포에 대해서 실질적으로 일정하게 유지되고, 권선들 중 또 다른 권선에 연결된 RF 전력이 다른 전자기장 분포를 위해 변화된다. 전력 유지 및 변경 동작은, 개개의 권선과 연결된 임피던스의 값 및 코일에 인가된 총 전력을 제어하는 것에 의해 바람직하게 수행된다. 일 실시예에 있어서, 복수 권선의 각각은 제1 및 제2 단자를 포함하고, 제1 단자는 RF 전력의 소스에 의해 구동된 정합 네트워크의 출력단자에 제1 직렬 커패시터를 통해 접속되고, 제2 단자는 제2 직렬 커패시터를 통해서 정합 네트워크의 공통 접지단자에 접속된다. 임피던스의 값은, 각 권선과 연결된 적어도 하나의 커패시터 용량(capacitance)을 제어함으로써 제어된다.
- <22> 일 실시예에 있어서, RF 전력은 주파수를 가지고, 권선은 개개의 권선의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류변동이 있도록 길이를 가진다. 이와 같은 구성에 있어서, 각 권선에 연결된 적어도 하나의 커패시터 값이 조절되어, 인접 권선은 서로 방사상으로 대향하는 정재파 RF 전류 최대값을 가진다.
- <23> 본 발명의 다른 양태에 있어서, RF 전력은 주파수를 가지고, 권선은 개개의 권선의 길이에 따라 실질적인 정재파 전류변동이 없도록 길이를 가진다. 이와 같은 구성에 있어서, 하나의 커패시터만이 각각의 권선에 연결될 필요가 있고, 그 용량이 조절되어 권선에 흐르는 전류 진폭을 제어한다.
- <24> 본 발명의 또 다른 양태는, 피가공물상에서 실질적으로 균일한 플라즈마 밀도를 얻기 위해 코일의 나머지에 대해서 코일의 외부 권선을 위치시키는 것을 포함한다. 특히, 외부 권선은, 실질적으로 동심적이면서 외부 권선의 내부에 있는 코일의 나머지에 대해서 코일 축의 주위에 턴(turn)된다.
- <25> 본 발명의 상기 및 그 이외의 목적, 특징 및 장점들은, 첨부된 도면과 관련된 몇개의 구체적인 실시예에서 다음의 상세한 설명에 대한 이해로부터 명백해질 것이다.

**도면의 간단한 설명**

- <26> 도 1은 본 발명에 관련되어 사용된 진공 플라즈마 프로세서의 타입의 개략도이다.
- <27> 도 2는 RF 소스, 정합 네트워크 및 코일을 구동하고, (1) 코일에 접속된 가변 커패시터의 용량과 (2) 코일로 공급된 총 전력을 제어하는 전자 제어회로와 결합하여 도 1의 프로세서에 포함된 코일의 전기적인 개략도이다.
- <28> 도 3은 13.56MHz 및 4MHz에서 여기시키기 위해 도 2에 도시된 코일의 권선에서 정재파 전류의 계출된 진폭을 포함한다.
- <29> 도 4는 도 2의 코일을 구동하는 전류 센서를 가지는 정합 네트워크의 회로도이다.
- <30> 도 5는 도 1, 도 2 및 도 4의 장치 사용에 의해 생기는 스퍼터 레이트(sputter rate) 등고선 도면이다.
- <31> [도면의 상세한 설명]
- <32> 도면중 도 1의 진공 플라즈마 피가공물 프로세서는, 접지된 금속 벽(12)을 갖는 실린더와 같은 모양의 진공챔버(10)와, 금속 하단 플레이트(14)와, 절연 윈도우 구조물(19)로 구성되어, 그 중심에서 그 주위까지 두께가 동일한 원형의 최상부 플레이트 구조물(18)을 포함한다. 진공챔버(10)의 밀봉은, 종래의 개스킷(gasket)(미도시)에

의해 제공된다. 도 1의 프로세서는, 반도체, 유전체 또는 금속 기판을 에칭하거나 또는 이와 같은 기판상에 재료를 증착하기 위해 사용될 수 있다.

- <33> 플라즈마 상태로 여기될 수 있는 적합한 가스가, 측벽(12)의 포트(20)를 통해서 가스 소스(미도시)에서 챔버(10)의 내부로 공급되고, 또한, 가스 분배 메커니즘(미도시)을 통해 균일하게 분배된다. 챔버의 내부는, 단부 플레이트(14)의 포트(22)에 접속된 진공펌프(미도시)에 의해 1-1000milliTorr 범위에서 변경될 수 있는 압력에서 진공상태로 유지된다.
- <34> 챔버(10)내의 가스는, 적절한 전원에 의해 공간 밀도가 제어된 플라즈마로 여기된다. 전원은, 윈도우(19)의 바로 위에 탑재되어, 전형적으로 13.56MHz의 고정주파수를 가지는 가변 전력 RF 발생기(26)에 의해 여기되는, 평면적인 또는 구형 또는 돔(dome)형 코일(24)을 포함한다.
- <35> RF 발생기(26)의 출력단자와 코일(24)의 여기단자 사이에서 접속된 임피던스 정합 네트워크(28)는, 상기 발생기의 RF 전력을 상기 코일에 연결시킨다. 임피던스 정합 네트워크(28)는, 검출기(43)에 의해 검출되는 것과 같이, 정합 네트워크의 입력단자에서 반사된 전압의 진폭 및 위상각의 표시에 응답하여 공지된 방식으로 컨트롤러(29)가 변화시키는 가변 리액턴스를 포함한다. 컨트롤러(29)는 네트워크(28)에서 리액턴스의 값을 변화시켜, 코일(24) 및 코일이 구동하는 플라즈마 부하를 포함하는 부하와 소스(26) 사이의 임피던스 정합을 얻는다.
- <36> 또한, 컨트롤러(29)는 입력장치(41)에 응답하여 코일(24)에 연결된 가변 리액턴스를 제어한다. 입력장치(41)는, 전위차계 또는 키 패드의 키와 같은 수동장치 또는 피가공물(32)의 다른 처리 레시피들 위해 컴퓨터 메모리에 저장된 신호에 응답하는 마이크로프로세서가 될 수 있다. 그 레시피의 변수는, (1) 포트(20)를 통해 챔버(10)내부로 흐르는 가스의 종류, (2) 포트(22)에 접속된 진공 펌프에 의해 제어된 챔버(10)내의 압력, (3) 실질적으로 전력과 같고, 코일(24)로 공급되는 RF 소스(26)의 총 출력전력 및 (4) 코일(24)에 접속된 커패시터의 값을 포함한다.
- <37> 피가공물(32)은 챔버(10)에서 피가공물 홀더(즉, 플레이트 또는 척(platen or chuck))(30)의 표면에 고정적으로 탑재되고; 피가공물(32)을 운반하는 홀더(30)의 표면은 윈도우(19)의 표면과 평행하다. 피가공물(32)은, 대개 DC 전원(미도시)이 홀더(30)의 척 전극(미도시)에 인가하는 DC 전위에 의해, 홀더(30)의 표면에 정전기적으로 고정된다. RF 소스(45)는, 무선주파수(radio frequency) 전자기파를 가변 리액턴스(미도시)를 포함하는 임피던스 정합 네트워크(47)로 공급한다. 정합 네트워크(47)는 소스(45)의 출력을 홀더(30)에 연결한다. 컨트롤러(29)는, 진폭 및 위상 검출기(49)가 유도하는 신호에 응답해서, 정합 네트워크(47)의 가변 리액턴스를 제어하여, 소스(45)의 임피던스와 홀더(30)의 전극(미도시)의 임피던스를 정합한다. 홀더(30)의 전극과 연결된 부하는 주로 챔버(10)내의 플라즈마이다. 공지된 바와 같이, 홀더(30)의 전극에 인가하는 RF 전압 소스(45)는, 플라즈마의 대전 입자와 상호 작용하여 피가공물(32)상에 DC 바이어스를 생성한다.
- <38> 코일(24)을 둘러싸면서 상단 플레이트(18) 위로 연장되는 금속 튜브 또는 캔 형태의 실드(shield)(34)는 벽(12)의 내부 직경보다 어느 정도 큰 내부 직경을 가진다. 실드(34)는, 코일(24)에서 생기는 전자기장을 주위 환경과 분리한다. 원통형 챔버(10)의 직경은 코일(24)에서 발생된 전자기장에 대한 경계로 규정한다. 유전 윈도우 구조물(19)의 직경은, 챔버(10)의 전체 상부가 유전 윈도우 구조물(19)로 구성될 정도로 챔버(10)의 직경보다 크다.
- <39> 피가공물(32)의 처리된 표면과 유전 윈도우 구조물(19) 하면 사이의 거리는, 피가공물의 노출되고 처리된 표면에 가장 균일한 플라즈마 플럭스를 제공하도록 선택된다. 바람직한 실시예에서, 피가공물의 처리된 표면과 절연 윈도우 하면 사이의 거리는, 개략적으로 챔버(10) 직경의 0.2-0.4배이다.
- <40> 코일(24)은, 각각 권선의 길이를 따라 정재파 패턴을 생성하기 위해 약 30-45°의 총 전기적 길이를 가지는 전송선과 같이 소스(26)의 13.56MHz 주파수에서 기능하는데 각각 전기적으로 충분히 긴 복수의 병렬 권선을 포함한다. 정재파 패턴들은 권선의 길이에 따른 정재파 RF 전압 및 전류 크기의 변동을 초래한다. 권선들에 의해 발생된 자속의 이들 RF 전류들의 크기에 대한 의존성은, 코일(24)의 다른 권선들 밀의 챔버(10)의 다른 부분들에서 플라즈마 밀도가 다르게 생성되는 것을 초래한다.
- <41> 코일의 다른 권선들에 흐르는 RF 전류 크기의 변동들은, 플라즈마 밀도의 공간 분포를 제어하는데 도움이 되도록 공간적으로 평균화된다. 코일의 다른 권선에서 이들 다른 전류값을 공간적으로 평균화하는 것은, 특히 권선에서 RF 전류가 낮은 영역에서의 플라즈마 밀도에서 방위각의 비대칭을 실질적으로 방지할 수 있다. 선택적으로, 발생기(26)의 주파수가 4.0MHz인 경우, 코일(24)의 권선이 전기적으로 단락되어, 약 10° ~ 15°에서 권선의 정재파 전류 및 전압을 실질적으로 일정하게 한다.

- <42> 컨트롤러(29)는, (1) 입력 커패시터(41), (2) 검출기(31)가 유도한 전압 진폭 및 위상각 신호들 및 (3) 코일(24)에 접속된 가변 커패시터의 값들과 RF 발생기(26)의 출력 전력을 제어하는 신호들은 물론, 마이크로프로세서(33)를 제어하는 프로그램들도 저장하는 메모리 시스템(35)에 응답하는 마이크로프로세서(33)(도 2)를 포함한다. 프로그램 중 메모리 시스템(35)이 저장하는 것은 정합 네트워크(28, 47)의 가변 리액턴스의 값을 위한 제어 프로그램이다. 또한, 소스(26)의 출력 전력과 코일(24)에 접속된 커패시터의 값도, 특히 프로세서가 단일 레시피에 전용되는 경우, 프로세서가 제조되거나 설치될 때 미리 설정될 수 있다.
- <43> 도 2에 도시된 바와 같이, 코일(24)은 2개의 병렬 권선(40, 42)을 포함하고, 양쪽은 일반적으로 중심 코일축(44)과 동심적이고, 축(44)에 대해서 방사상으로 또한 원주상으로 연장되는 다중 나선형 턴을 포함한다. 내부 권선(40)은 외부 권선(42)이 권선(40)을 완전히 둘러싸도록 완전히 외부 권선(42) 안에 있다. 권선(40)은 내부 단자(46) 및 외부 단자(48)를 포함하며, 권선(42)은 외부 단자(50) 및 내부 단자(52)를 포함한다.
- <44> 내부 권선(40)은 2개의 직선 세그먼트(60, 62)는 물론, 반지름이 다른 3개의 동심 턴(54, 56, 58)도 포함한다. 각각의 턴들(54, 56, 58)은 축(44)상에 중심이 있는 원의 세그먼트이고, 약 340°의 각도를 갖는다. 턴들(54, 56)의 인접하는 단부들은 직선 세그먼트(60)에 의해 서로 접속되고, 직선 세그먼트(62)는 턴들(56, 58)의 인접하는 단부들을 서로 상호 접속한다. 직선 세그먼트들(60, 62)은 실질적으로 평행한 경로들(paths)을 따라 방사상으로 또한 원주상으로 연장된다.
- <45> 외부 권선(42)은 직선 세그먼트(68)는 물론 반지름이 다른 2개의 동심 턴(64, 66)을 포함한다. 각각의 턴(64, 66)은 축(44)상에 중심이 있는 원의 세그먼트이고, 약 340°의 각도를 갖는다. 직선 세그먼트(68)는 방사상으로 또한 원주상으로 연장되어 턴(64, 66)의 인접하는 단부들 서로 접속한다.
- <46> 권선(40)의 턴(54, 56, 58) 및 섹터(60, 62)의 길이의 합계는, 권선(42)의 섹터(68)는 물론 턴(64, 66)의 길이의 합계와 거의 같다. 권선(40, 42)은 실질적으로 길이가 같기 때문에, 그들은 발생기(26)가 이들로 공급하는 주파수에 관계없이, 실질적으로 동일한 길이에 따라 정재파 전압 및 전류 변동을 갖는다.
- <47> 코일(24)의 권선(40, 42)은, 제어된 가변 출력 전력을 가지는 RF 발생기(26)의 단일 고정주파수에 의해 유도된 RF 전류에 의해 병렬로 구동된다. 다음에 기술하는 바와 같이, 발생기(26)의 주파수(예를 들면, 4.0MHz) 또는 고주파수(예를 들면, 13.56MHz)에서는, 각각의 권선(40, 42)에 단일 전류 최대치가 있다. 고주파수에서는, 전류 최대치가 각 권선의 단자들 사이의 거의 중간에 있는 위치에 있다. 전류 최대치가 축(44)에 대해 권선(40, 42)의 방사상으로 반대 지점에서 발생하여, 발생기(26)에 의한 권선(40, 42)의 RF 여기로부터 생성된 링 형태의 전기장에 개략적인 방위각 대칭을 제공한다.
- <48> 권선(40, 42)은 각각 독립된 병렬회로 브랜치(branch)(81, 83)이다. 브랜치(81)는 직렬 접속된 권선(40) 및 가변 커패시터(80, 84)를 포함하고, 브랜치(83)는 직렬 접속된 권선(42) 및 가변 커패시터(82, 86)를 포함한다. 코일(24)의 권선(40, 42)의 턴은, 정합 네트워크(28)의 출력단자로부터의 출력에 의해 병렬로 구동된 입력단자(46, 50)가 코일 축(44)의 대향측에 있으므로 권선(40, 42)의 단자(46, 50)에서 나머지 단자로 동일한 방향으로 전류가 흐르도록 배열된다. 단자(46)는 코일(24)의 반지름이 가장 작은 턴(54)상에 있고, 단자(58)는 반지름이 가장 큰 턴(66)상에 있다. 단자(46, 50)는, 각각 가변 직렬 커패시터(80, 82)에 의해 정합 네트워크(28)의 출력단자에 접속된다.
- <49> 코일(24)의 출력단자(48, 52)는, 축(44)에 대해서 서로 정반대측에 있고, 가변 직렬 커패시터(84, 86)를 통해서 공통 접지단자에 접속된다.
- <50> 소스(26)의 고주파 출력에 대해서는, 권선(40, 42)에서의 정재파 전류가 권선(40)의 입력 및 출력단자(46, 48)와 권선(42)의 단자(50, 52)에서 최소 진폭을 갖도록 커패시터(84, 86)의 값이 설정되며, 여기서, 정재파 전압은 최대이다. 권선(40, 42)의 정재파 전류는, 정재파 전압이 최소인 권선(40, 42)의 방사상으로 반대측의 지점에서 최대치를 가지며, 그 결과는 커패시터(84, 86)의 값을 조절함으로써 달성된다. 정재파 전류 최대치는 정재파 전압을 모니터링함으로써 위치될 수 있다. 전류 최대치는 전압이 최소(0볼트에 가까운)인 위치에서 발생한다. 권선(40, 42)에서 정재파 전류 최대치를 방사상으로 서로 대향측에 위치시키는 것이, 방위각으로 대칭인 플라즈마 밀도를 제공하는데 도움이 된다.
- <51> 커패시터(80, 82)의 값은 정합 네트워크(28)에 동조된 각각의 권선(40, 42)의 임피던스를 유지하는데 도움이 된다. 권선(40, 42)에서 정재파 전류의 최대 진폭은 커패시터(80, 82)의 값에 의해 각각 제어된다. 권선(40, 42)의 물리적인 구성 및 단자(46, 48, 50, 52)의 위치는, 권선(40, 42)에서 최대 정재파 전류의 위치에 영향을 미친다.

<52> 발생기(26)의 총 출력 전력, 즉 발생기(26)가 권선(40, 42)에 병렬로 인가하는 전력은 물론, 커패시터(80, 82, 84, 86)의 값의 적절한 제어는, 권선(40, 또는 42)중 하나에서 전류를 실질적으로 일정하게 존속시키는 것이 가능하지만, 다른 하나의 권선에서 전류의 변화를 제공한다. 권선(40 또는 42)중 하나에서 전류를 실질적으로 일정하게 유지하는 동안 총 전력을 변화시키는 능력은, 권선의 가압(energization)에 의해 생기는 전자기장 분포에 걸쳐 실질적인 제어를 제공한다. 권선(40 또는 42)중 하나에서 전류를 실질적으로 일정하게 유지함으로써, 그 권선에 의해 생성되어 챔버(10)내의 플라즈마로 공급되는 전자기장이 비교적 일정하게 존속한다. 권선(40 또는 42)중 다른 하나에서의 전류를 변화시킴으로써, 권선이 챔버(10)내의 플라즈마로 공급하는 전자기장을 변경시킨다. 상술한 바와 같이, 다른 피가공물 처리 레시피는 실질적으로 일정하게 존속시키기 위해 권선(40)에 의해 축적된 전자기 전력 및 권선(42)이 변경되는 플라즈마와 연결하는 전력을 필요로 한다. 다른 레시피에 대해서는, 권선(42)이 챔버(10)내의 플라즈마로 공급하는 전력 분포가 일정하게 존속하고 브랜치(40)가 챔버(10)내의 플라즈마로 공급하는 전력이 변화되는 것이 바람직하다.

<53> 발생기(26)의 출력 전력은 물론 커패시터(80, 82, 84, 86)의 값은, 입력 컨트롤러(41)로부터의 레시피 신호에 응답하여 마이크로프로세서(33)에 의해 관독되는 메모리 시스템(35)에 저장된 신호에 응답하여 이들 부분의 수동 조절 또는 자동 조절에 의해 다른 레시피에 대해 제어된다. 선택적으로, 특정 코일이 항상 동일한 레시피로 동작하는 프로세서와 항상 접속하여 동작하는 경우, 발생기(26)의 출력 전력은 물론 커패시터(80, 82, 84, 86)의 값은, 프로세서가 제조될 때 또는 프로세서의 설치시 공장에서 설정될 수 있다.

<54> 각각의 권선(40, 42)이 전형적으로 6Ω의 저항을 갖는 것으로 가정하면, 권선(42)에서의 RMS(root mean square) 전류가 실질적으로 일정하게 유지되고, 발생기(26)의 출력 전력 및 표 1에 따른 브랜치(81, 83)의 총 리액턴스 ( $X_1$ ) 및 ( $X_2$ )를 조절함으로써 권선(40)에서의 RMS 전류가 변경되는 것을 가능하게 한다.

**표 1**

표1 ( $R_1 = R_2 = 6\Omega$ )

케이스 ↓	$P_{tot}(W)$	$X_1(\Omega)$	$X_2(\Omega)$	$I_1(A)$	$I_2(A)$
a) 내부 권선(40) 및 외부 권선(42)에서 동등한 전류	1000	40	40	9.13	9.13
b) 외부 권선(42) 보다 내부 권선(40)에서 대전류	1570	20	30	13.36	9.12
c) 외부 권선(42) 보다 내부 권선(40)에서 저전류	850	60	50	7.63	9.14

<55>

<56> 유사하게, 내부 권선(40)에서 실질적으로 일정한 전류와 외부 권선(42)에서 가변 전류를 유지하는 것을 희망하는 경우에는, 브랜치(81)( $X_1$ )와 브랜치(82)( $X_2$ )의 리액턴스 및 발생기(26)의 출력 전력이 표 2에 따라 조절된다.

**표 2**

표2 ( $R_1 = R_2 = 6\Omega$ )

케이스 ↓	$P_{tot}(W)$	$X_1(\Omega)$	$X_2(\Omega)$	$I_1(A)$	$I_2(A)$
a) 내부 권선(40) 및 외부 권선(42)에서 동등한 전류	1000	40	40	9.13	9.13
b) 외부 권선(42) 보다 내부 권선(40)에서 대전류	1570	30	20	9.12	13.36
c) 외부 권선(42) 보다 내부 권선(40)에서 저전류	850	50	60	9.14	7.63

<57>

<58> 발생기(26)의 출력 전력은 물론 커패시터(80, 82, 84, 86)의 값들을 변경함으로써, 방위 및 방사 좌표 방향들의 양쪽에서 피가공물상에 입사하는 플라즈마 밀도의 제어가 달성된다.

<59> 다음의 브랜치들(81, 82) 분석은, 브랜치들과 관련된 임피던스들에 대해서 적절한 값들을 유도하는 양적인 통찰을 제공한다.

<60> 전류 및 임피던스를 각각 브랜치(81)에 대해서  $I_1$  및  $z_1$ 이고 브랜치(83)에 대해서  $I_2$  및  $z_2$ 라고 가정하자. 각각의 브랜치는 입력 커패시터, 권선 및 출력 커패시터의 직렬 조합으로 구성되기 때문에, 입력 임피던스( $z_1$ , 또는  $z_2$ )는, 브랜치(81) 또는 브랜치(83)에 대한 입력( $C_1$  또는  $C_2$ ) 및 출력( $C_3$  또는  $C_4$ ) 커패시터 및 권선( $L_1$  또는  $L_2$ )에서의 전체 임피던스의 총계(lump sum)이다. 그러므로,  $z_1 = R_1 + j[\omega L_1 - 1/(\omega C_1) - 1/(\omega C_3)] = R_1 + jX_1$ , 여기서,  $R_1$  및  $X_1 = \omega L_1 - 1/(\omega C_1) - 1/(\omega C_3)$ 는 각각 임피던스  $z_1$ 의 실수부(저항) 및 허수부(리액턴스)부를 각각 나타낸다. 마찬가지로,  $z_2 = R_2 + jX_2$ , 여기서,  $R_2$  및  $X_2 = \omega L_2 - 1/(\omega C_2) - 1/(\omega C_4)$ 는 각각 임피던스  $z_2$ 의 저항부 및 리액턴스부를 각각 나타낸다. 어느 한 브랜치에 걸친 RF 전압을  $V$ ; 브랜치들(81, 83)로 공급되는 총 전류를  $I$ ; 2개의 브랜치에서 소실되는 총 전력, 즉 소스(26)의 출력 전력을  $P_{tot}$ ; 2개 브랜치의 전체 임피던스를  $z$ 라 한다. 브랜치(81, 83)가 병렬로 있기 때문에,

<61> 
$$z = \frac{z_1 z_2}{z_1 + z_2} = \frac{(R_1 + jX_1)(R_2 + jX_2)}{(R_1 + R_2) + j(X_1 + X_2)} \quad (1)$$

<62> 이다.

수식 (1)에서 주어진 임피던스는  $z = |z| e^{j\phi} = R + jX$ , 여기서  $R$ 은 코일(24), 즉 서로 병렬 관계에 있는 권선(40, 42)의 전체 실수 성분이고, 다음과 같이 수식 (1)에서 얻어진다:

<63> 
$$R = \frac{(R_1 + R_2)(R_1 R_2 - X_1 X_2) + (X_1 + X_2)(R_1 X_2 + R_2 X_1)}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (2)$$

<64> 
$$= \frac{R_1 (R_2^2 + X_2^2) + R_2 (R_1^2 + X_1^2)}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \quad (2a)$$

<65> 수식 2(a)에서,  $R$ 은  $X_1$  및  $X_2$ 의 변화보다는  $R_1$  및  $R_2$ 의 변화에 더 민감하다.

<66> 이때,  $P_{tot}$ 는

<67> 
$$P_{tot} = \frac{1}{2} V_0 I_0 \cos \phi = \frac{1}{2} I_0^2 |z| \cos \phi = \frac{1}{2} I_{rms}^2 R = I_{rms}^2 R \quad (3)$$

<68> 으로 주어지고, 여기서  $V_0$  및  $I_0$ 는, 각각, 정합 네트워크(28)가 코일(24)에 인가하는 전압 및 전류의 피크 진폭이고,  $I_{rms}$ 는 정합 네트워크(28)가 코일(24)에 인가하는 rms 전류  $I$ 이며,  $\phi$ 는  $V/I = z = |z| e^{j\phi}$ 이므로, 정합 네트워크(28)가 코일(24)에 인가하는 전압과 전류 사이의 위상차이다. 또한,

<69> 
$$V_0 = I_0 |z| \quad \text{및} \quad I_{rms} = I_0 / \sqrt{2} .$$

<70> 브랜치(81)에서의 전류  $I_1$ 는 수식 (1) 및 (3)에서 다음과 같이 계산될 수 있다

<71> 
$$I_1 = \frac{V}{z_1} = \frac{Iz}{z_1} = \frac{z_2}{z_1 + z_2} I \quad (4)$$

<72>  $I_1$ 의 rms 값은 수식 (2) 및 (3)을 (4)로 대입하여 다음과 같이 얻어진다.

<73> 
$$I_1(rms) = \left| \frac{z_2}{z_1 + z_2} \right| I_{rms} = \sqrt{\frac{R_2^2 + X_2^2}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \cdot \frac{P_{tot}}{R} \quad (5)$$

<73> 유사하게,

$$I_2(rms) = \frac{z_1}{z_1 + z_2} | I_{rms} = \sqrt{\frac{R_1^2 + X_1^2}{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}} \cdot \frac{P_{tot}}{R} \quad (6)$$

<74>

<75> 수식 (5) 및 (6)은 브랜치(81, 83)와 권선(40, 42)에서의 전류가 연결되는 것을 분명하게 나타낸다. 소스(26)의 총 전력(P)이 일정하게 주어지므로, (브랜치(81)에서 입력 커패시터(80)의 값을 감소시킴으로써)  $X_1$ 이 증가하는 것과 같이,  $I_2$ 가 증가하는 동안  $I_1$ 이 감소한다. (수식 2(a)에서의) R이  $X_1$  또는  $X_2$ 가 변화하는 것과 같이 매우 작게 변화하기 때문에, R은 여기서의 설명과 같이 거의 일정한 것으로 취급될 수 있다.

<76>

간단하게 하기 위해, RF소스(26)의 주파수는 13.56MHz이고, 각 브랜치(40, 42)의 전기적 길이는 13.56MHz에서 77°이며, 커패시터(80, 82, 84, 86)의 값은 권선(40, 42)에서 전류가 같게 되도록 적절하게 조절되는 것으로 가정한다. 이와 같은 상황에서, 각 권선(40, 42)의 길이에 따른 정재파 전류 진폭은, 도 3의 곡선(90)으로 묘사된다. 곡선(90)은 각 권선(40, 42)의 입력단자와 출력단자 사이에서 사인 곡선 형태(sinusoidal-like)의 변동을 갖는다. 곡선(90)은 곡선의 중간점, 즉 38°에서 거의 14.5 암페어 RMS의 피크 값을 갖고, 권선(40, 42)의 입력 및 출력단자에서 약 10.7 암페어 RMS의 최소값을 갖는다. 그러므로, 각 권선(40, 42)에서의 최대 정재파 전류는 최소 정재파 전류를 약 3.8 암페어 RMS, 즉 거의 21%만큼 초과한다.

<77>

도 2의 배열을 13.56MHz의 주파수로 동작시키는데 있을 수 있는 문제점은, 권선(40, 42)에서 유도된 전자기장 분포에 대하여 바람직한 관계를 유지하기 위해, 커패시터(80, 82, 84, 86)가 동시에 또는 반복적인 방식으로 조절되어야 한다는 것이다. 예를 들면, 피가공물상에서 방위각 대칭 밀도를 유지하기 위해서는, 각 코일에서의 최대 전류가 축(44)에 대해서 방사상으로 서로 대향측에 위치될 필요가 있다. 이것은 권선(40, 42)의 출력단자와 접지단자 사이에서 접속된 커패시터(84, 86)의 값을 조절함으로써 달성된다. 커패시터(84, 86)의 값을 조절하는 것은, 정재파 전류의 바람직한 값을 제공하여 표 1 및 2에 나타난 값을 얻기 위해, 커패시터(80, 82)의 조절을 필요로 할 수도 있다. 그러나, 커패시터(80, 82)의 값의 조절은 권선(40, 42)에서 전류 정재파 패턴을 더 이동시킬 수 있으므로, 전류 정재파 패턴의 최대치가 코일 축(44)에 대해서 더 이상 완전히 대향되지 않는다. 전류 정재파 패턴의 최대치가 이 방식으로 이동되는 경우, 커패시터(84, 86)의 값의 조정이 더 필요하게 될 수도 있다.

<78>

이 문제점을 극복하기 위해, 권선(40, 42)에 따른 전류 변동이 실질적으로 감소될 수 있는 경우, 권선(40, 42)에서 정재파 전류 최대치의 위치가 중요하지 않고, 즉 최대치가 코일 축(44)의 완전히 반대측상에 있어야 하지 않고, 단일 가변 커패시터만이 각각의 권선(40, 42)에 접속될 필요가 있다는 것을 알 수 있다. 바꾸어 말하면, 4개 커패시터(80, 82, 84, 86) 전체를 동시에 또는 반복적으로 조절할 필요성이 제거된다.

<79>

이들 목적을 위해, 본 발명의 하나의 실시예는, 권선(40, 42)의 전송선 영향이 실질적으로 감소되도록 RF 소스(26)의 주파수를 감소시키는 것을 포함한다. 각 권선(40, 42)의 전기적 길이가 실질적으로 약 45°보다 작은 경우, 정재파 전류의 최대치와 최소치 사이의 퍼센트 변화가 충분히 감소되어, 각각 단일 가변 커패시터(84, 86)만이 권선(40, 42)과 직렬로 접속될 수 있게 하고, 각 권선의 입력단자와 정합 네트워크(28)의 전력 출력단자 사이에서 접속되는 어떤 커패시터에 대한 필요성도 제거된다.

<80>

상술한 바와 같이, 하나의 바람직한 실시예에 있어서, RF 소스(26)의 주파수가 13.56MHz에서 4.0MHz로 감소되어, 3.4의 팩터(factor)만큼 권선(40, 42)의 전기적 길이의 감소를 초래한다. 도 3의 곡선(92)은, 권선(40, 42)에서 정재파 전류가 동등하게 되도록 조절된 커패시터(84, 86)의 상태를 나타낸다. 13.56MHz(곡선(90)으로 도시된)에서 해석된 동일한 물리적 권선이 4.0MHz(곡선(92)으로 도시된)에서 재해석된다. 각 브랜치(40, 42)의 전기 길이는 22.6°(즉, 77°/3.4)가 된다. 곡선(92)은 권선(40, 42)의 입력 및 출력단자에서 거의 25.7 암페어 RMS의 최소 정재파 전류를 가지고, 권선의 중심에서 거의 26 암페어 RMS의 최대 정재파 전류를 가진다. 곡선(90)의 긴 전송선 상태보다 곡선(92)의 짧은 전송선 상태에서, 권선(40, 42)에 실질적으로 대전류가 흐른다는 사실에도 불구하고, 소스(24)의 출력 전력은, 양쪽 상태에서 2400와트로 동일하다. 도 3의 예시적인 동일한 전류 곡선(90, 92)에 있어서, 커패시터(84, 86)의 용량은 서로 같고, 소스(26)의 13.56MHz에 대해 137picofarads(pF)의 값을 가지며, 커패시터(84, 86)의 값은 소스(26)의 4.0MHz의 여기에 대해 1808pF이다.

<81>

곡선(92)의 최대 정재파 전류와 최소 정재파 전류 사이의 퍼센트 변화는, 곡선(90)의 21% 변화와 대비되어 약 2%이다. 여기 소스(26)의 비교적 낮은 주파수는 권선(40, 42)의 최소 정재파 전류와 최대 정재파 전류 사이에서 비교적 작은 변화를 초래하기 때문에, 챔버(10)내의 플라즈마에 대해서 각각의 권선(40, 42)에 의해 생성된

방위 전기장이 비교적 균일하다. 따라서, 커패시터(80, 82)를 포함하고, 권선(40, 42)에서 최대 정재파 전류의 위치를 조절할 필요가 없다. 표 1 및 2에서는 각각 저주파수 여기에 필요한 정보를 제공하고, 커패시터(84, 86)의 용량 및 RF 소스(26)의 출력 전력을 조절하여 코일(40, 42)에서 일정한 전류를 얻는다.

<82> 권선(40, 42)에서 최대 정재파 전류의 비율( $I_1/I_2$ )은, 커패시터(86)의 값을 일정하게 유지하면서 커패시터(84)의 값을 조절하고, 이후 커패시터(84)의 값을 일정하게 유지하면서 커패시터(86)의 값을 조절함으로써, 소스(26)의 4.0MHz의 여기 전력에 대해, 20:1에서 1:1까지, 이후 1:1에서 1:10까지 연속적으로 변화될 수 있고, 여기서  $I_1$ 은 권선(40)에서의 최대 정재파 전류이며,  $I_2$ 는 권선(42)에서의 최대 정재파 전류이다. 커패시터(84, 86)의 값이 변화되는 것과 같이, 소스(26)의 출력 전력도 변화되어 표 1 및 2에 나타낸 것과 같은 효과를 제공한다.

<83> 마이크로프로세서(33)의 출력신호에 응답해서 커패시터(80, 82, 84, 86)의 값을 제어하기 위해, 각각의 커패시터는 DC모터(87) 중 다른 하나의 DC모터에 의해 구동된다. 각각의 모터(87)는 마이크로프로세서(33)의 다른 출력신호에 응답한다. 마이크로프로세서(33)가 모터(87)로 공급하는 신호는 모터의 출력 샤프트(shaft)가 커패시터(80, 82, 84, 86)의 소량의 용량 값을 얻도록 턴(turn)되는 양과 동등한 값을 가진다. 정합 네트워크(28)는 모터(88)에 의해 구동된 가변 리액턴스(바람직하게는, 도 4의 커패시터)를 포함한다. 모터(88)는, 메모리 시스템(35) 및 검출기(43)에 의해 저장된 프로그램에 의해 유도된 신호에 응답하여 마이크로프로세서(33)가 유도하는 다른 신호에 응답한다. 검출기(43)는, (1) 발생기(26)를 향해 정합 네트워크(28)에 의해 반사된 전압 진폭과 (2) 반사된 전압 및 전류 사이의 위상차를 나타내는 신호를 유도한다. 마이크로프로세서(33)는, 적합한 DC 신호를 발생기(26)로 공급하여 발생기의 출력 전력을 제어한다. 도 4와 관련되어 설명된 회로에서 유도된 바와 같이, 마이크로프로세서(33)는, 브랜치(81, 83)의 출력단자(48, 52)에서 정재파 전류를 나타내는 신호는 물론, RF 소스(26) 및 정합 네트워크(28)에 의해 브랜치(81, 83)에 병렬로 인가된 전압을 나타내는 신호에도 응답한다.

<84> 다음으로, 코일(24)의 4.0MHz 구동과 관련된 전기 회로의 바람직한 실시예의 회로도인 도 4가 참조된다. RF 소스(26)는 위상 및 크기 검출기(43)와 바람직하게 2000pF의 용량을 갖는 고정된 직렬 커패시터(100)를 통해서 정합 회로(28)를 구동한다. 정합 네트워크(28)는, 가변 분로 커패시터(102) 및 모터(88)에 의해 변화되는 용량 값을 갖는 가변 직렬 커패시터(104)를 포함한다.

<85> 정합회로(28)의 출력 전력은 직렬 인덕터(106), RF 전압 검출기(108) 및 위상 검출기(109)를 통해서 브랜치(81, 83)에 병렬로 연결된다. RF 전압 검출기(108)는 브랜치(81, 83)의 접합 입력단자에서 RF 전압의 피크 진폭을 나타내는 DC 전압을 유도하고, 위상 검출기(109)는 브랜치(81, 83)의 접합 입력단자에서 RF 전압과 전류 사이의 위상차를 나타내는 DC 전압을 유도한다. 검출기(108, 109)의 출력전압이 마이크로프로세서(33)로 귀환되어, 차례대로 모터(87) 및 발생기(26)의 출력 전력을 제어하여 전술한 결과를 얻는다. 브랜치(81, 83)를 통해서 흐르는 전류는 가변 커패시터(84, 86)를 통해서 접지에 각각 연결된다.

<86> 브랜치(81, 83)의 출력 단자에서 정재파 전류의 크기는, 커패시터(84, 86)의 저전압 전극과 접지 사이에 접속된 와이어 리드(wire lead)(111, 113)에 유도적으로 각각 연결된 전류진폭 센서(110, 112)에 의해 각각 검출된다. 각각의 전류센서(110, 112)는, 유도성 연결을 제공하기 위해 와이어 리드(111, 113)가 연장되어 통과하는 중심 개구를 가지는 환상 코일(109)을 포함하는 전류 트랜스포머를 포함한다. 또한, 각각의 전류센서(110, 112)는, 각각 단자(48, 52)를 통해서 흐르는 전류를 나타내는 DC 전류를 마이크로프로세서(33)로 공급하기 위한 정류기 및 로우-패스 필터도 포함한다.

<87> 접지된 전자기 실드(114, 116)는 전류센서(110, 112)와 커패시터(84, 86)의 사이에 각각 삽입되어, 나머지 장치의 RF 필드, 특히 권선(40, 42)으로부터의 전자기 간섭을 최소화 한다. 실드(114 또는 116)는 링 형태의 금속 플레이트(119) 및 실드(121)로 구성된다. 실드(119)는 리드(111 또는 113)가 통과하는 개구를 갖는다. 실드(121)는 센서(110 또는 112) 및 리드(111 또는 113)를 수평적으로 둘러싸는 금속 원통(cylinder)이다. 수직으로 센서를 사이에 두는 실드(119) 및 플레이트(115)와 함께, 센서(110, 112) 및 리드(111 또는 113)가 주위의 RF 필드로부터 완전히 보호되어, 전류 센서의 정밀도를 크게 개선시킨다. 실드(119, 121)는 바람직하게 은 도금된 (silver-plated) 구리로 제조된다. 실드(121)는 기계 및 전기적으로 플레이트(115)에만 접속된다. 권선(40, 42)의 출력단자에서 모든 전압이 커패시터(84, 86)에 걸쳐서 리드(111, 113)에 접속된 커패시터의 단부 플레이트(142)가 사실상 접지된다. 실드(114, 116) 및 전류 센서(110, 112)는, 금속 하우징(117)내에 검출기(43), 커패시터(100, 102, 104), 코일(106) 및 검출기(108, 109)와 함께 배열된다. 전류 센서(110, 112) 및 실드(114, 116)의 세부사항은 "플라즈마 여기 코일용 전류센서를 포함하는 유도성 플라즈마 프로세서(INDUCTIVE PLASMA

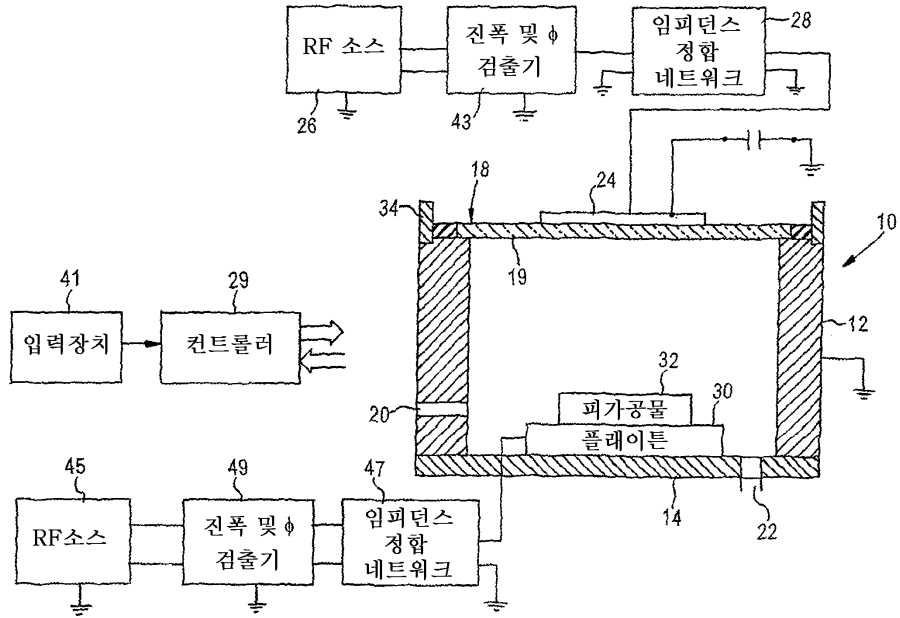


PROCESSOR INCLUDING CURRENT SENSOR FOR PLASMA EXCITATION COIL)"(Lowe Hauptman Gilman and Berner Docket No.2328-051)라고 제목이 붙여진 공동-계류중인 출원에 개시되어 있다.

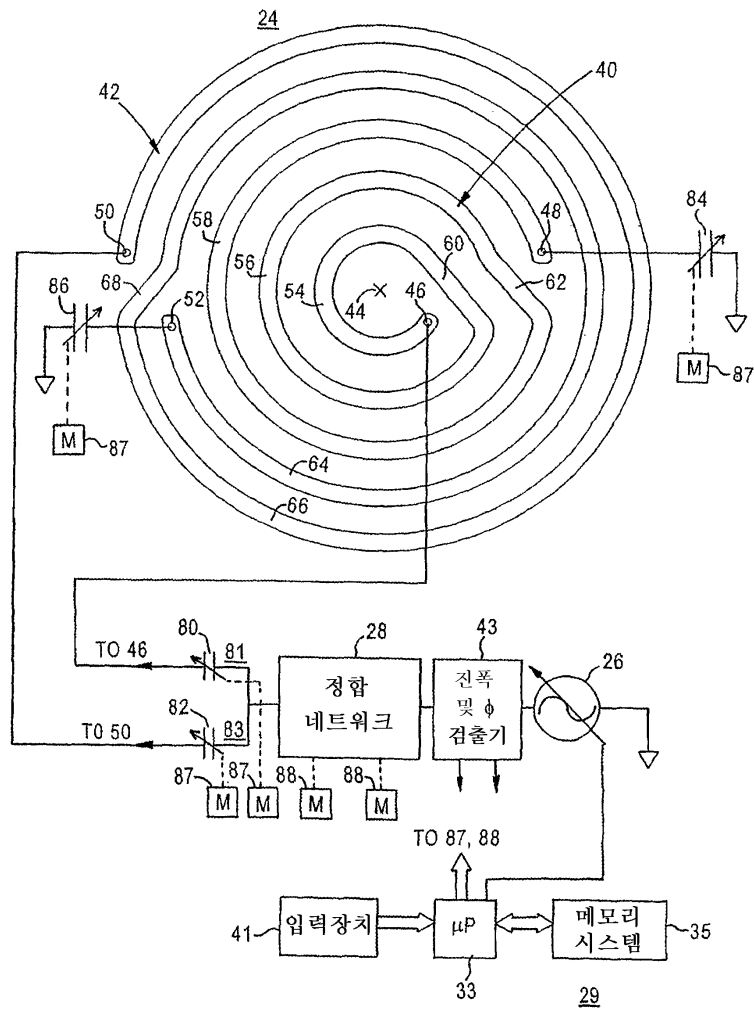
- <88> 각각의 커패시터(84, 86, 100, 102, 104)는, RF 소스(26)에서 권선(40, 42)으로 흐르는 비교적 대전류의 취급이 가능한 진공 커패시터이다. 4MHz에서는 각 권선(40, 42)의 전기 길이가 비교적 짧기 때문에, 커패시터의 일반적인 최대 값이 2500pF인 비교적 대용량의 값이 커패시터(84, 86)에 필요하게 된다. 병렬 브랜치(81, 83)의 저임피던스와 정합하기 위해, 분로 부하 커패시터(102)는 1400pF의 비교적 큰 최대 값을 갖는다. 직렬 커패시터(104)는, 병렬 브랜치(81, 83)의 저 유도성 리액턴스를 동조시키기 위해 1500pF의 최대 값을 가지는 비교적 큰 커패시터이다.
- <89> 바람직하게, 200pF의 값을 가지는 고정 입력 직렬 접속된 커패시터(100)는, 소스(26)와 코일(24)의 병렬 권선(40, 42) 사이에서 임피던스 변환의 일부를 제공한다. 커패시터(100)는 분로 부하 커패시터(102)가 더 정당한 값을 가지는 것을 가능하게 하기 위해 포함되는 것과 달리, 커패시터(102)는 1400pF의 최대 값을 가지는 커패시터와 관련된 값보다도 상당히 높은 용량을 갖는다. 또한, 고정 커패시터(100)는 정합회로(28)와 코일의 병렬 권선(40, 42)과의 더 좋은 동조를 얻기 위해, 더 좋은 동조 레졸루션(resolution)을 제공한다.
- <90> 바람직하게, 3.5microhenries의 비교적 큰 값을 가지는 고정 인덕터(106)는 정합 네트워크(28)의 동조 범위를 연장한다. 외부 하우징(117)에 있고, 내부 권선(40)과 임의로 접속되는 인덕터(110)는, 권선(40, 42)과 관련된 병렬 브랜치(81, 83)에 대해서 실질적으로 동등한 임피던스를 제공하기 위해 사용될 수 있다. 권선(42)이 권선(40)의 인덕턴스보다 실질적으로 더 큰 인덕턴스를 가지는 경우 인덕터(110)가 사용된다.
- <91> 전압 검출기(108) 및 전류센서(110, 112)는 마이크로프로세서(33)로 신호를 공급한다. 마이크로프로세서(33)는 전압 검출기(108), 전류센서(110, 112) 및 위상표시 검출기(109)로부터의 신호에 응답하여 RF 소스(26)의 총 출력 전력을 유도한다. 총 전력의 표시는, RF 발생기(26)의 출력 전력을 제어하는데 사용되어, 표 1 및 2에서 표시된 전력이 얻어지는 것을 가능하게 한다. 전류센서(110, 112)가 유도하는 신호가 마이크로프로세서(33)에 의해 사용되어, 커패시터(84, 86)의 용량을 변화시키는 모터를 제어하여, 표 1 및 2에 명시된 전류를 얻기 위해 정확한 전류가 권선(40, 42)에 흐르는 것을 보장한다.
- <92> 도 5는 산화층으로 균일하게 덮여진 8인치 반도체 웨이퍼상에서의 스퍼터 레이트의 등고선 도면이다. 도 2에 도시된 권선(40, 42)을 이용한 유도성 방전 결과로 생기는 도면이다. 권선(40, 42)은 4MHz 주파수에서 발생기(26)의 1500watt 출력으로 구동된다. 척(30)의 전극은 4MHz 주파수에서 소스(45)의 1400watt 출력으로 구동되어, 총 압력 5mTorr에서 아르곤(Ar) 85sccm(cm<sup>3</sup>/분)와 산소(O<sub>2</sub>) 100sccm의 화학적 반응으로 -375V의 DC 바이어스를 생성한다. 커패시터(80, 82)는 생략되고, 커패시터(84, 86)는 조절되므로, 외부 권선(42)의 정재파 최대 전류(I<sub>2</sub>)에 대한 내부 권선(40)의 정재파 최대 전류(I<sub>1</sub>)의 비율 I<sub>1</sub>/I<sub>2</sub> = 1.4:1.9로 고정된다. 내부 권선 및 외부 권선에서 소실되는 전력은, 대략적으로 균형이 유지된다. 스퍼터 레이트의 등고선 도면은 균일한 플라즈마 밀도를 나타낸다. 라인(170)에 의해 표시된 공간적으로 평균화된 스퍼터 레이트는 1211 옹스트롬(angstrom)/분이고, 표준 편차는 3.2%이다. 도 5에서 "+" 기호는 평균보다 높은 스퍼터 레이트를 나타내고, "-" 기호는 평균보다 낮은 스퍼터 레이트를 나타낸다. 도 5의 등고선 도면을 제작한 장비는 예칭된 재료의 50 옹스트롬에 대하여 등고선을 제작한다. 도 5에서 하나의 등고선만이 있기 때문에, 예칭은 등고선(170) 평균의 ±50 옹스트롬내에 있다. 내부 및 외부 권선(40, 42)에서 전류의 비율(I<sub>1</sub>/I<sub>2</sub>)을 일(unity)보다 높게, 거의 같게 및 낮게 변경함으로써, 피가공 물상에 입사하는 플라즈마 밀도가 균일한 고밀도 중심으로부터 고밀도 외부 에지까지 방사상으로 변화된다.
- <93> 프로세서가 수행되고 있는 경우, 내부 권선(40)은 외부 권선(42)에 대해서 턴(turn)되어, 방위각 전기장 분포 및 방위각 플라즈마 밀도분포를 제어하는데 도움이 된다. 권선(40)이 축(44)에 대해서 턴되어, 단자(46, 48)가 단자(50, 52)에 비해서 다른 위치에 있게 된다. 바꾸어 말하면, 단자(46, 48)는 도 2에 도시된 것과 다른 위치가 될 수 있다. 동일한 타입의 프로세서가 프로세서 전체에서 일관된 방위각 전기장 및 플라즈마 밀도 분포를 가지는 경우, 권선(40)은 미리 설정된 위치에서 턴 될 수 있다. 그러나, 동일한 타입의 다른 프로세서가 프로세서 전체에서 다른 방위각 전기장 및 플라즈마 밀도 분포를 가지는 경우, 최적의 균일한 플라즈마 분포를 나타내는 테스트가 각각의 특정 프로세서에서 달성될 때까지 권선(40)은 권선(42)에 대해서 턴된다.
- <94> 본 발명의 상세한 실시예가 기술되고, 도시되었지만, 부가되는 청구항에서 규정되는 바와 같이, 본 발명의 본래의 취지와 범위를 벗어나지 않는 한 구체적으로 도시되어 기술된 실시예의 상세한 기술의 변동이 가능한 것은 분명하다. 예를 들면, 본 발명의 다수의 원리들은 2개의 동심 권선을 가지는 코일에 한정되는 것이 아니라, 2개 이상의 권선을 가지는 코일에 적용할 수 있다.

도면

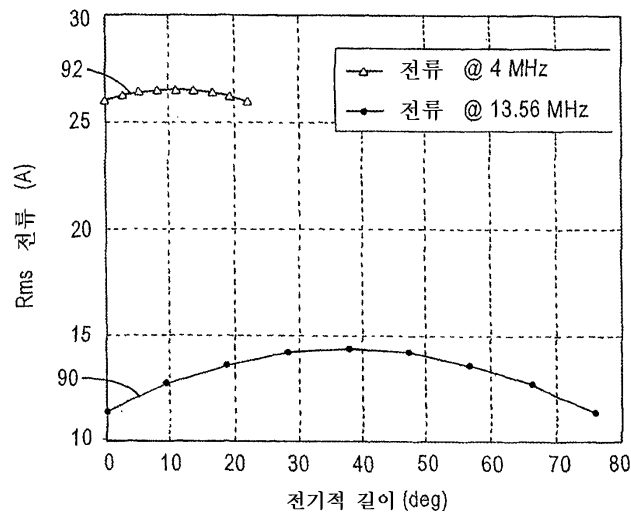
도면1



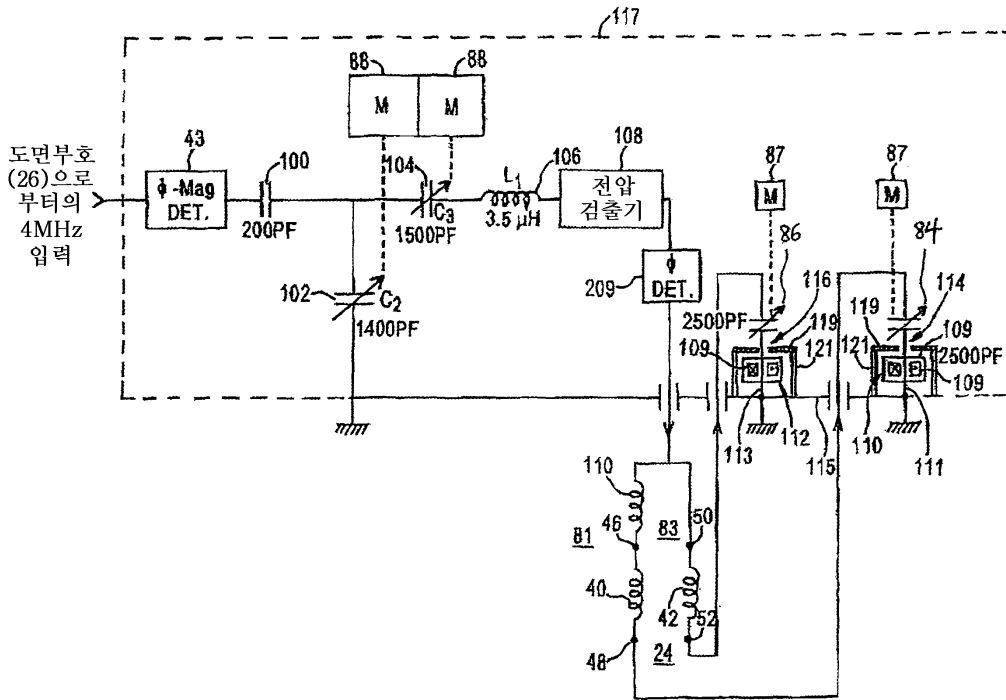
도면2



도면3



도면4



도면5

