



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0065597
(43) 공개일자 2022년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01J 37/32 (2006.01) H05H 1/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H01J 37/32935 (2013.01)
H01J 37/32183 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0152308
(22) 출원일자 2020년11월13일
심사청구일자 2020년11월13일

(71) 출원인
충남대학교산학협력단
대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)
(72) 발명자
유신재
대전광역시 유성구 가정로 63, 106동 1201호 (신성동, 하나아파트)
김시준
대전광역시 동구 산서로 1633-16
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김원준

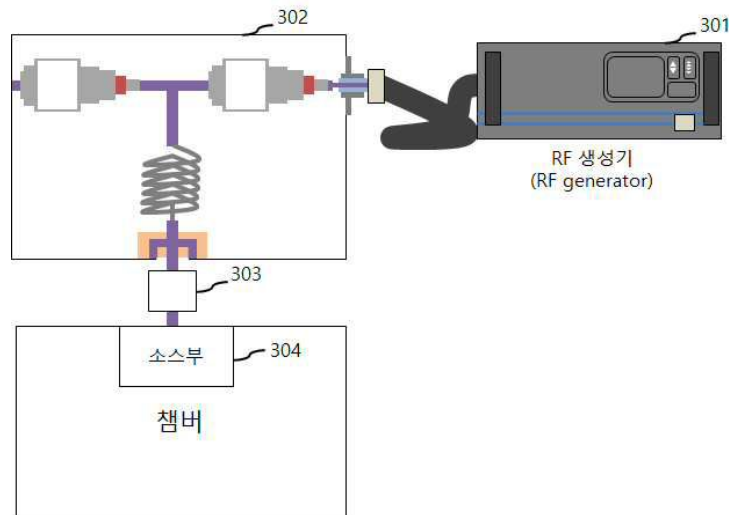
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법

(57) 요약

본 발명은 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 완벽 부유된 토로이달 코일을 포함하는 일체형 전압 및 전류 센서를 임피던스 정합기의 출력단과 소스부 사이에 구비하고, 상기 토로이달 코일의 양 끝단의 전압을 측정하여 상기 소스부에 인가되는 고주파(RF) 신호의 전압 및 전류를 계산함으로써, 센서 사이즈의 소형화가 가능하고 크로스토크 최소화를 통해 챔버의 소스부에 인가되는 정확한 전압 및 전류의 실시간 모니터링이 가능한 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법을 제공한다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H05H 1/0081 (2021.05)

H01J 2237/3341 (2013.01)

(72) 발명자

성인호

서울시 성동구 독서당로 218, 110동 1801호

최하정

대전시 둔산로 15, 향촌 아파트 104-401

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415169054
과제번호	20009818
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품산업미래성장동력(R&D)
연구과제명	플라즈마실시간 공정모니터링 센서 및 공정모사기술 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	충남대학교산학협력단
연구기간	2020.04.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415169052
과제번호	20010420
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품산업미래성장동력(R&D)
연구과제명	차세대 반도체 극고종횡비 식각 공정 한계 극복 연구
기 여 율	1/3
과제수행기관명	충남대학교산학협력단
연구기간	2020.04.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415168132
과제번호	20172010105910
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지수요관리핵심기술개발(에특)(R&D)
연구과제명	PFC 가스 대체용 Fluorocarbon 계열 Precursor를 이용한 식각 공정 개발
기 여 율	1/3
과제수행기관명	충남대학교산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치에 있어서,
반도체의 제조 및 가공 공정에 사용되는 플라즈마 발생을 위해 기설정된 주파수 및 파워레벨을 가지는 고주파(RF) 신호를 발생시켜 챔버로 전달하기 위한 고주파 생성기(RF generator)(301);
상기 고주파 생성기와 상기 챔버 간의 임피던스를 매칭하기 위한 임피던스 정합기(matcher)(302);
상기 챔버 내에 구비되어 상기 고주파 신호를 전달받는 소스부(source)(304); 및
상기 임피던스 정합기의 출력단에 접속하여 상기 소스부로 인가되는 전압 및 전류를 감지하는 일체형 전압 및 전류 센서(303)
를 포함하는 일체형 전압 및 전류를 포함하는 플라즈마 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,
상기 일체형 전압 및 전류 센서는,
상기 고주파 신호가 전달되는 고주파(RF) 신호라인(401);
상기 고주파(RF) 신호라인으로부터 기설정된 간격을 두고 상기 고주파(RF) 신호라인 주위를 둘러싸는 토로이달 코일(402);
상기 토로이달 코일의 일측 끝단 및 타측 끝단을 포함하는 기설정된 지점들과 연결되어 상기 소스부로 인가되는 데이터를 전달받는 데이터 수집부(403); 및
상기 고주파(RF) 신호라인 및 상기 토로이달 코일을 차폐하는 쉴딩 박스(404)
를 포함하는 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,
상기 토로이달 코일은,
접지에 대하여 부유(floating)된 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,
상기 데이터 수집부는,
상기 토로이달 코일의 일측 끝단의 전압(V_1), 상기 토로이달 코일의 타측 끝단의 전압(V_2), 상기 토로이달 코일의 양 끝단 사이의 전압(V_3), 및 상기 토로이달 코일의 중간 지점의 전압(V_4)을 측정하고,

상기 측정된 전압을 전달받는 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 데이터 수집부로부터 전달받은 데이터로부터 상기 소스부로 인가되는 전압 및 전류를 모니터링하기 위한 제어부

를 더 포함하고,

상기 제어부는,

저항값을 알고 있는 저항에 대하여, 입력 전압(V_{in}), 입력 전류(I_{in}), 축전 결합 전압(V_C), 및 유도 결합 전압(V_I)과의 관계 및 대응 값에 대한 룩업테이블을 저장하고 있으며,

상기 입력 전압은 상기 축전 결합 전압(V_C)과 비례관계를 가지고 있으며,

상기 입력 전류는 상기 유도 결합 전압(V_I)과 비례관계를 가지고 있으며,

상기 데이터 수집부로부터 전달받은 데이터로부터 상기 축전 결합 전압(V_C) 및 상기 유도 결합 전압(V_I)을 계산하고,

상기 룩업테이블을 이용하여 상기 계산한 축전 결합 전압(V_C)에 대응하는 입력 전압 및 상기 계산한 유도 결합 전압(V_I)에 대응하는 입력 전류를 계산하는 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 축전 결합 전압(V_C)은 하기 [수학식 5]를 이용하여 계산하는 것을 특징으로 하고,

[수학식 5]

$$1) V_a^I + V_b^I = 0$$

$$2) V_a = V_a^I + V_c$$

$$3) V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a + V_b = V_a^I + V_b^I + 2V_c$$

$$\text{Capacitive coupling voltage : } V_c = \frac{V_a + V_b}{2}$$

(여기서, V_a 는 상기 토로이달 코일의 일측 끝단 a 지점의 전압, V_b 는 상기 토로이달 코일의 타측 끝단 b 지점의 전압, V_a^I 는 a 지점의 유도 결합 전압, V_b^I 는 b 지점의 유도 결합 전압)

상기 유도 결합 전압(V_I)은 하기 [수학식 6]을 이용하여 계산하는 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치.

[수학식 6]

$$V_a = V_a^I + V_c$$

$$V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a - V_b = V_a^I + V_c - V_b^I - V_c$$

$$\text{Inductive coupling voltage : } V_I = V_a - V_b$$

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 임피던스 정합기는,

출력 특성 임피던스를 50Ω(옴)에 맞추는 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치.

청구항 8

일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 있어서,

상기 일체형 전압 및 전류 센서는 부유된 토로이달 코일을 포함하는 것을 특징으로 하고,

상기 일체형 전압 및 전류 센서를 준비하는 일체형센서준비단계(S1510);

상기 일체형 전압 및 전류 센서에 대하여, 값을 알고 있는 저항에 대하여, 입력 전압(V_{in}), 입력 전류(I_{in}), 축전 결합 전압(V_c), 및 유도 결합 전압(V_I)과의 관계에 및 대응 값에 대한 룩업테이블을 생성하는 룩업테이블생성단계(S1520);

상기 준비된 일체형 전압 및 전류 센서의 인덕티브 커플링이 0이 되도록 하는 제1 테스트 센서를 준비하는 제1 테스트센서준비단계(S1530);

상기 준비된 일체형 전압 및 전류 센서의 캐패시티브 커플링이 0이 되는 제2테스트 센서를 준비하는 제2테스트 센서준비단계(S1540);

상기 일체형 전압 및 전류 센서, 상기 제1 테스트 센서, 및 상기 제2 테스트 센서의 기설정된 지점의 전압을 측정하여 상기 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하는 센서검증단계(S1550);

상기 검증된 일체형 전압 및 전류 센서를 상기 플라즈마 장치에서 임피던스 정합기의 출력단과 챔버의 소스부 사이에 구비하는 센서구비단계(S1560); 및

상기 소스부에 인가되는 전압 및 전류를 모니터링하는 모니터링단계(S1570);

를 포함하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 모니터링단계(S1570)는,

상기 토로이달 코일의 일측 끝단의 전압(V_1), 상기 토로이달 코일의 타측 끝단의 전압(V_2), 상기 토로이달 코일의 양 끝단 사이의 전압(V_3), 및 상기 토로이달 코일의 중간 지점의 전압(V_4)을 측정하는 측정단계;

상기 측정된 토로이달 코일의 전압들을 이용하여 축전 결합 전압(V_c) 및 유도 결합 전압(V_l)을 계산하는 전압계산단계; 및

상기 록업테이블을 이용하여 상기 계산한 축전 결합 전압(V_c)에 대응하는 입력 전압 및 상기 계산한 유도 결합 전압(V_l)에 대응하는 입력 전류를 계산하는 전압전류계산단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 축전 결합 전압(V_c)은 하기 [수학식 7]을 이용하여 계산하는 것을 특징으로 하고,

[수학식 7]

$$1) V_a^I + V_b^I = 0$$

$$2) V_a = V_a^I + V_c$$

$$3) V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a + V_b = V_a^I + V_b^I + 2V_c$$

$$\text{Capacitive coupling voltage : } V_c = \frac{V_a + V_b}{2}$$

(여기서, V_a 는 상기 토로이달 코일의 일측 끝단 a 지점의 전압, V_b 는 상기 토로이달 코일의 타측 끝단 b 지점의 전압, V_a^I 는 a 지점의 유도 결합 전압, V_b^I 는 b 지점의 유도 결합 전압)

상기 유도 결합 전압(V_l)은 하기 [수학식 8]을 이용하여 계산하는 것을 특징으로 하는 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법.

[수학식 8]

$$V_a = V_a^I + V_c$$

$$V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a - V_b = V_a^I + V_c - V_b^I - V_c$$

$$\text{Inductive coupling voltage : } V_l = V_a - V_b$$

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 완벽 부유된 토로이달 코일을 포함하는 일체형 전압 및 전류 센서를 임피던스 정합기의 출력단과 소스부 사이에 구비하고, 상기 토로이달 코일의 양 끝단의 전압을 측정하여 상기 소스부에 인가되는 고주파(RF) 신호의 전압 및 전류를 계산함으로써, 센서 사이즈의 소형화가 가능하고 크로스토크 최소화를 통해 챔버의 소스부에 인가되는 정확한 전압 및 전류의 실시간 모니터링이 가능한 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 반도체 공정이 직접화되고 미세화 되면서 식각공정 분야에서도 새로운 공정이 나타나게 되었는데, 이에 따라 공정 난이도 또한 상승하게 되었다. 공정 중 실시간으로 정밀하게 플라즈마 변수를 측정하기 위해, 플라즈마에 섭동을 주지 않는 비침투식 진단 장치들이 이용되고 있다. 대표적인 비침투식 진단 장치로써, 광 방출 분광분석법(Optical Emission Spectroscopy, OES)과 전압/전류 센서가 있다.
- [0003] 광 방출 분광분석법의 경우, 공정에서 물리화학적 반응 대상 면적이 좁아지면서 나타는 측정신호의 민감도가 하락하는 문제가 있어 최근에는 전압/전류 센서의 연구가 활발히 이루어지고 있다.
- [0004] 도 1은 종래의 전압/전류 센서가 구비된 플라즈마 장치의 구성도이고, 도 2는 종래의 전압/전류 센서의 구성도이다.
- [0005] 도 1를 참조하면, 종래의 전압/전류 센서가 구비된 플라즈마 장치는, 고주파(RF) 신호를 발생시켜 챔버로 전달하기 위한 고주파 생성기(RF generator)(101), 상기 고주파 생성기(101)로부터 전달받은 고주파(RF) 신호의 전압 및 전류를 측정하기 위한 전압/전류 센서(102), 상기 고주파 생성기(101)와 상기 챔버 간의 임피던스를 매칭하기 위한 임피던스 정합기(103), 및 상기 챔버 내에 구비되어 상기 고주파 신호를 전달받는 소스부(104)를 포함한다.
- [0006] 도 2를 참고하면, 종래의 전압/전류 센서는, 고주파(RF) 신호라인(201), 상기 고주파(RF) 신호라인(201)에 흐르는 고주파 신호의 전류를 측정하기 위한 전류센서(202), 및 상기 고주파(RF) 신호라인(201)에 걸리는 고주파 신호의 전압을 측정하기 위한 전압센서(203)를 포함한다.
- [0007] 도 2에 도시된 바와 같이, 현재 대부분의 전압/전류 센서(102)는 전압과 전류를 측정하기 위해 두 개의 센서로 구성되는데, 이로 인해 필연적으로 센서 간의 누화가 발생하여 측정 정확성이 떨어지게 된다. 이를 극복하기 위해, 이중 격벽(novel double wall) 또는 접지벽(ground wall)과 같은 추가적인 구조물에 대해 연구되고 있으나, 이로 인해, 센서의 크기가 증가하게 되고 전압/전류 측정을 위한 공간이 협소한 위치에서 장착이 불가능해지는 단점이 발생되었다.
- [0008] 또한, 상기 고주파 생성기(101)로부터 출력되는 고주파 신호의 전압 및 전류와 소스부(104)에 인가되는 전압 및 전류는 위상과 크기가 많이 달라, 실제 분석하거나, 플라즈마 공정을 위한 파라미터들을 제어하기 위한 시뮬레이션을 하는데 정확한 데이터가 제공되지 못한다.
- [0009] 또한, 상기 종래의 전압/전류 센서(102)를 상기 임피던스 정합기(103)의 출력단 측으로 옮기게 되면, 상기 전압/전류 센서(102)에 고전류가 흐르게 되며 열이 발생하게 되는데, 이를 위해 추가적인 구조물들을 더 포함하여 설계하는 경우, 열 효과가 극대화 되어, 더욱 부정확한 데이터를 얻게 되는 문제점이 있다.
- [0010] 한편, 상기 종래의 전압/전류 센서(102)를 상기 임피던스 정합기(103)의 출력단 측으로 옮기게 되면, 종래의 전압/전류 센서(102) 자체의 임피던스가 크기 때문에, 임피던스 정합이 틀어지게 된다. 따라서, 상기 고주파 생성기(101)로부터 출력되는 고주파 신호와는 완전히 다른 신호가 소스부(104)로 인가될 가능성도 있다.
- [0011] 즉, 센서의 장착을 위해 임피던스 정합기(MATCHER)의 구조적 변경을 필요로 하게 되는 문제점을 가지게 된다.
- [0012] 한국등록특허 [10-1533473]에서는 플라즈마 비한정 센서 및 그의 방법이 개시되어 있다.
- [0013] 한국등록특허 [10-1999622]에서는 플라즈마 진단 시스템 및 방법이 개시되어 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) 한국등록특허 [10-1533473](등록일자: 2015. 06. 26)
(특허문헌 0002) 한국등록특허 [10-1999622](등록일자: 2019. 07. 08)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 완벽 부유된 토로이달 코일을 포함하는 일체형 전압 및 전류 센서를 임피던스 정합기의 출력단과 소스부 사이에 구비하고, 상기 토로이달 코일의 양 끝단의 전압을 측정하여 상기 소스부에 인가되는 고주파(RF) 신호의 전압 및 전류를 계산함으로써, 센서 사이즈의 소형화가 가능하고 크로스토크 최소화를 통해 챔버의 소스부에 인가되는 정확한 전압 및 전류의 실시간 모니터링이 가능한 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법을 제공하는 것이다.

[0016] 본 발명의 실 시예들의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치는, 반도체의 제조 및 가공 공정에 사용되는 플라즈마 발생을 위해 기설정된 주파수 및 파워레벨을 가지는 고주파(RF) 신호를 발생시켜 챔버로 전달하기 위한 고주파 생성기(RF generator)(301); 상기 고주파 생성기와 상기 챔버 간의 임피던스를 매칭하기 위한 임피던스 정합기(matcher)(302); 상기 챔버 내에 구비되어 상기 고주파 신호를 전달받는 소스부(source)(304); 및 상기 임피던스 정합기의 출력단에 접속하여 상기 소스부로 인가되는 전압 및 전류를 감지하는 일체형 전압 및 전류 센서(303)를 포함한다.

[0018] 상기 일체형 전압 및 전류 센서는, 상기 고주파 신호가 전달되는 고주파(RF) 신호라인(401); 상기 고주파(RF) 신호라인으로부터 기설정된 간격을 두고 상기 고주파(RF) 신호라인 주위를 둘러싸는 토로이달 코일(402); 상기 토로이달 코일의 일측 끝단 및 타측 끝단을 포함하는 기설정된 지점들과 연결되어 상기 소스부로 인가되는 데이터를 전달받는 데이터 수집부(403); 및 상기 고주파(RF) 신호라인 및 상기 토로이달 코일을 차폐하는 쉴딩 박스(404)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 상기 토로이달 코일은, 접지에 대하여 부유(floating)된 것을 특징으로 한다.

[0020] 상기 데이터 수집부는, 상기 토로이달 코일의 일측 끝단의 전압(V_1), 상기 토로이달 코일의 타측 끝단의 전압(V_2), 상기 토로이달 코일의 양 끝단 사이의 전압(V_3), 및 상기 토로이달 코일의 중간 지점의 전압(V_4)을 측정하고, 상기 측정된 전압을 전달받는 것을 특징으로 한다.

[0021] 상기 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치는, 상기 데이터 수집부로부터 전달받은 데이터로부터 상기 소스부로 인가되는 전압 및 전류를 모니터링하기 위한 제어부를 더 포함하고, 상기 제어부는, 값을 알고 있는 저항에 대하여, 입력 전압(V_{in}), 입력 전류(I_{in}), 축전 결합 전압(V_c), 및 유도 결합 전압(V_l)과의 관계에 및 대응 값에 대한 룩업테이블을 저장하고 있으며, 상기 입력 전압은 상기 축전 결합 전압(V_c)과 비례관계를 가지고 있으며, 상기 입력 전류는 상기 유도 결합 전압(V_l)과 비례관계를 가지고 있으며, 상기 데이터 수집부로부터 전달받은 데이터로부터 상기 축전 결합 전압(V_c) 및 상기 유도 결합 전압(V_l)을 계산하고, 상기 룩업테이블을 이용하여 상기 계산한 축전 결합 전압(V_c)에 대응하는 입력 전압 및 상기 계산한 유도 결합 전압(V_l)에 대응하는 입력 전류를 계산하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 상기 축전 결합 전압(V_c)은 하기 [수학식 5]를 이용하여 계산하는 것을 특징으로 하고,

[0023] [수학식 5]

$$1) V_a^I + V_b^I = 0$$

$$2) V_a = V_a^I + V_c$$

$$3) V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a + V_b = V_a^I + V_b^I + 2V_c$$

$$\text{Capacitive coupling voltage : } V_c = \frac{V_a + V_b}{2}$$

[0024]

[0025] (여기서, V_a 는 상기 토로이달 코일의 일측 끝단 a 지점의 전압, V_b 는 상기 토로이달 코일의 타측 끝단 b 지점의 전압, V_a^I 는 a 지점의 유도 결합 전압, V_b^I 는 b 지점의 유도 결합 전압)

[0026] 상기 유도 결합 전압(V_I)은 하기 [수학식 6]을 이용하여 계산하는 것을 특징으로 한다.

[0027] [수학식 6]

$$V_a = V_a^I + V_c$$

$$V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a - V_b = V_a^I + V_c - V_b^I - V_c$$

$$\text{Inductive coupling voltage : } V_I = V_a - V_b$$

[0028]

[0029] 상기 임피던스 정합기는, 출력 특성 임피던스를 50Ω(옴)에 맞추는 것을 특징으로 한다.

[0030]

또한, 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법은, 상기 일체형 전압 및 전류 센서는 부유된 토로이달 코일을 포함하는 것을 특징으로 하고, 상기 일체형 전압 및 전류 센서를 준비하는 일체형센서준비단계(S1510); 상기 일체형 전압 및 전류 센서에 대하여, 값을 알고 있는 저항에 대하여, 입력 전압(V_{in}), 입력 전류(I_{in}), 축전 결합 전압(V_c), 및 유도 결합 전압(V_I)과의 관계에 및 대응 값에 대한 룩업테이블을 생성하는 룩업테이블생성단계(S1520); 상기 준비된 일체형 전압 및 전류 센서의 인덕티브 커플링이 0이 되도록 하는 제1 테스트 센서를 준비하는 제1테스트센서준비단계(S1530); 상기 준비된 일체형 전압 및 전류 센서의 캐패시티브 커플링이 0이 되는 제2테스트 센서를 준비하는 제2테스트센서준비단계(S1540); 상기 일체형 전압 및 전류 센서, 상기 제1 테스트 센서, 및 상기 제2 테스트 센서의 기설정된 지점의 전압을 측정하여 상기 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하는 센서검증단계(S1550); 상기 검증된 일체형 전압 및 전류 센서를 상기 플라즈마 장치에서 임피던스 정합기의 출력단과 챔버의 소스부 사이에 구비하는 센서구비단계(S1560); 및 상기 소스부에 인가되는 전압 및 전류를 모니터링하는 모니터링단계(S1570)를 포함한다.

[0031]

상기 모니터링단계(S1570)는, 상기 토로이달 코일의 일측 끝단의 전압(V_1), 상기 토로이달 코일의 타측 끝단의 전압(V_2), 상기 토로이달 코일의 양 끝단 사이의 전압(V_3), 및 상기 토로이달 코일의 중간 지점의 전압(V_4)을 측정하는 측정단계; 상기 측정된 토로이달 코일의 전압들을 이용하여 축전 결합 전압(V_c) 및 유도 결합 전압(V_I)을 계산하는 전압계산단계; 및 상기 룩업테이블을 이용하여 상기 축전 결합 전압(V_c)에 대응하는 입력 전압 및 유도 결합 전압(V_I)에 대응하는 입력 전류를 계산하는 전압전류계산단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0032] 상기 축전 결합 전압(V_c)은 하기 [수학식 7]을 이용하여 계산하는 것을 특징으로 하고,

[0033] [수학식 7]

$$1) V_a^I + V_b^I = 0$$

$$2) V_a = V_a^I + V_c$$

$$3) V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a + V_b = V_a^I + V_b^I + 2V_c$$

$$\text{Capacitive coupling voltage : } V_c = \frac{V_a + V_b}{2}$$

[0034]

[0035] (여기서, V_a 는 상기 토로이달 코일의 일측 끝단 a 지점의 전압, V_b 는 상기 토로이달 코일의 타측 끝단 b 지점의 전압, V_a^I 는 a 지점의 유도 결합 전압, V_b^I 는 b 지점의 유도 결합 전압)

[0036] 상기 유도 결합 전압(V_I)은 하기 [수학식 8]을 이용하여 계산하는 것을 특징으로 한다.

[0037] [수학식 8]

$$V_a = V_a^I + V_c$$

$$V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a - V_b = V_a^I + V_c - V_b^I - V_c$$

$$\text{Inductive coupling voltage : } V_I = V_a - V_b$$

[0038]

[0039] 또한, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법을 구현하기 위한 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체가 제공되는 것을 특징으로 한다.

[0040] 아울러, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법을 구현하기 위해, 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장된 프로그램이 제공되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0041] 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 의하면, 완벽 부유된 토로이달 코일을 포함하는 일체형 전압 및 전류 센서를 임피던스 정합기의 출력단과 소스부 사이에 구비하고, 상기 토로이달 코일의 양 끝단의 전압을 측정하여 상기 소스부에 인가되는 고주파(RF) 신호의 전압 및 전류를 계산함으로써, 센서 사이즈의 소형화가 가능하고 크로스토크 최소화를 통해 챔버의 소스부에 인가되는 정확한 전압 및 전류의 실시간 모니터링이 가능한 효과가 있다.

[0042] 또한, 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 의하면, 센서 간의 누화가 최소화되어 신뢰성 높은 감지 신호를 얻을 수 있으며, 센서의 소형화로 임피던스 정합기 내부 뿐만 아니라 공간이 협소한 곳에서도 장착이 가능한 효과가 있다.

[0043] 또, 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 의하면, 반도체 및 디스플레이 공정의 플라즈마 인가 전압 및 전류의 고정밀 실시간 모니터링뿐만 아니라 임피던스, 인가 전력 및 고조파의 모니터링도 가능한 효과가 있다.

[0044] 아울러, 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치, 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 의하면, 이온 에너지 전산모사 및 공정 전산모사와 연동된 시스템에서도 활용이 가능함에 따라, 반도체 및 디스플레이 공정에서 수율을 향상시킬 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0045] 도 1은 종래의 전압/전류 센서가 구비된 플라즈마 장치의 구성도.

도 2는 종래의 전압/전류 센서의 구성도.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치의 구성도.

도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 수평 단면도.

도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서, 고주파(RF) 신호선 및 토로이달 코일의 정면도.

도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서, 고주파(RF) 신호선 및 토로이달 코일의 측면도.

도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서, 입력 전압, 입력 전류, 축전 결합 전압, 및 유도 결합 전압과의 관계를 설명하기 위한 도면.

도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서 토로이달 코일을 이용한 전압 측정 방법을 설명하기 위한 도면.

도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서 위치에 따른 토로이달 전압을 설명하기 위한 도면.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서 측정하는 전압 포인트들을 설명하기 위한 도면.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 모식도.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제1 테스트 센서의 모식도.

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제2 테스트 센서의 모식도.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 각 전압 측정 포인트(V_1 , V_2 , V_3 , V_4)에서의 전압을 나타내는 도면.

도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제1 테스트 센서의 수평 단면도.

도 11b는 도 11a의 제1 테스트 센서의 각 전압 측정 포인트(V_1 , V_2 , V_3 , V_4)에서의 전압을 나타내는 도면.

도 12a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제2 테스트 센서의 수평 단면도.

도 12b는 도 12a의 제2 테스트 센서의 각 전압 측정 포인트(V_1 , V_2 , V_3 , V_4)에서의 전압을 나타내는 도면.

도 13은 제1 테스트 센서의 입력 전압에 따른 V_3 및 V_4 의 그래프.

도 14는 제2 테스트 센서의 입력 전압에 따른 V_3 및 V_4 의 그래프.

도 15는 본 발명에 따른 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법의 일 실시예 흐름도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0046] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0047] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0048] 반면에, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "직접 연결되어" 있다거나 "직접 접속되어" 있다고 언급된 때에는, 중간에 다른 구성요소가 존재하지 않는 것으로 이해되어야 할 것이다.

[0049] 본 명세서에서 사용되는 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 공정, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 공정, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0050] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미가 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미가 있는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.

[0051] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명을 더욱 상세하게 설명한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정하여 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가

장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 또한, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 또한, 명세서 전반에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다. 도면들 중 동일한 구성요소들은 가능한 한 어느 곳에서든지 동일한 부호들로 나타내고 있음에 유의해야 한다.

- [0052] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치의 구성도이다.
- [0053] 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치는 고주파 생성기(RF generator)(301), 임피던스 정합기(matcher)(302), 일체형 전압 및 전류 센서(303), 및 소스부(source)(304)를 포함한다.
- [0054] 상기 고주파 생성기(RF generator)(301)는 반도체의 제조 및 가공 공정에 사용되는 플라즈마 발생을 위해 기설정된 주파수 및 파워레벨을 가지는 고주파(RF) 신호를 발생시켜 챔버로 전달한다.
- [0055] 상기 임피던스 정합기(matcher)(302)는 상기 고주파 생성기(301)와 상기 챔버 간의 임피던스를 매칭한다.
- [0056] 상기 소스부(source)(304)는 상기 챔버 내에 구비되어 상기 고주파 신호를 전달받는다.
- [0057] 상기 일체형 전압 및 전류 센서(303)는 상기 임피던스 정합기(302)의 출력단에 접속하여 상기 소스부(304)로 인가되는 전압 및 전류를 감지한다.
- [0058] 한편, 도 3에서는 상기 일체형 전압 및 전류 센서(303)는 상기 임피던스 정합기(302)와 별도의 구성요소로 연결되는 것으로 도시하였으나, 상기 일체형 전압 및 전류 센서(303)는 상기 임피던스 정합기(302) 내부의 출력단에 연결되어 하나의 구성요소로 구비될 수도 있다.
- [0059] 도 4a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 수평 단면도이고, 도 4b는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서, 고주파(RF) 신호선 및 토로이달 코일의 정면도이고, 도 4c는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서, 고주파(RF) 신호선 및 토로이달 코일의 측면도이다.
- [0060] 도 4a 내지 4c를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서는, 고주파(RF) 신호라인(401), 토로이달 코일(Toroidal coil)(402), 데이터 수집부(403), 및 쉘딩 박스(404)를 포함한다.
- [0061] 상기 고주파(RF) 신호라인(401)은 고주파 생성기(301)로부터 발생된 고주파 신호(RF 신호)가 전달된다.
- [0062] 상기 토로이달 코일(402)은 상기 고주파(RF) 신호라인(401)으로부터 기설정된 간격을 두고 상기 고주파(RF) 신호라인(401)의 주위를 둘러싸고 있으며, 접지에 대하여 부유(floating)된 상태이다.
- [0063] 상기 데이터 수집부(403)는 상기 토로이달 코일(402)의 입력단 및 출력단을 포함하는 기설정된 포인트와 연결되어 소스부(304)로 인가되는 전압 및 전류를 모니터링하기 위한 데이터를 전달받는다.
- [0064] 상기 쉘딩 박스(404)는 상기 고주파(RF) 신호라인(401) 및 상기 토로이달 코일(402)을 차폐한다.
- [0065] 상기 고주파(RF) 신호선(401)은 상기 쉘딩 박스(404)와 절연체(405)로 분리되어 있다.
- [0066] 또한, 상기 고주파(RF) 신호라인(401)의 입력단에 구비되는 입력 커넥터(미도시), 및 상기 고주파(RF) 신호라인(401)의 출력단에 구비되는 출력 커넥터(미도시)를 더 포함하며, 상기 입력 커넥터를 통해 상기 일체형 전압 및 전류 센서(303)와 상기 임피던스 정합기(302)가 연결되며, 상기 출력 커넥터를 통해 상기 일체형 전압 및 전류 센서(303)와 소스부(304)가 연결될 수 있다.
- [0067] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서를 구비하는 플라즈마 장치는 상기 데이터 수집부(403)로부터 전달받은 데이터로부터 상기 소스부(304)로 인가되는 전압 및 전류를 모니터링하기 위한 제어부(미도시)를 더 포함한다.
- [0068] 상기 제어부는, 미리 저항값을 알고 있는 저항(R)에 대하여, 입력 전압(V_{in}), 입력 전류(I_{in}), 축전 결합 전압(V_C), 및 유도 결합 전압(V_I)과의 관계 및 대응 값에 대한 특업테이블을 저장하고 있다. 상기 특업테이블에는, 상기 축전 결합 전압(V_C)에 대응하는 입력 전압(V_{in}), 및 상기 유도 결합 전압(V_I)에 대응하는 입력 전류(I_{in})가

저장되어 있다.

- [0069] 도 4d는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서, 입력 전압, 입력 전류, 축전 결합 전압, 및 유도 결합 전압과의 관계를 설명하기 위한 도면이다.
- [0070] 도 4d를 참조하면, 미리 저항(R)을 알고 있으므로, 입력 전압(V_{in})을 컨트롤하면, 입력 전류(I_{in})를 계산할 수 있다.
- [0071] 이때, 입력 전압(V_{in})은 캐패시티브 커플링에 영향을 미치므로, 입력 전압은 상기 축전 결합 전압(V_C)과 비례관계를 가지고 있으며, 전류 자기장에 의해 인덕티브 커플링 영향이 있으므로, 계산된 입력 전류(I_{in})는 상기 유도 결합 전압(V_I)과 비례관계를 가지게 된다.
- [0072] 즉, 상기 제어부는, 상기 데이터 수집부로부터 전달받은 데이터로부터 상기 축전 결합 전압(V_C) 및 상기 유도 결합 전압(V_I)을 계산하고, 상기 룩업테이블을 이용하여 상기 계산한 축전 결합 전압(V_C)에 대응하는 입력 전압(V_{in}) 및 상기 계산한 유도 결합 전압(V_I)에 대응하는 입력 전류(I_{in})를 계산한다.
- [0073] 도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서 토로이달 코일을 이용한 전압 측정 방법을 설명하기 위한 도면이고, 도 5b 내지 5d는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서 위치에 따른 토로이달 전압을 설명하기 위한 도면이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서에서 측정하는 전압 포인트들을 설명하기 위한 도면이다.
- [0074] 도 5a 내지 5d를 참조하면, 고주파(RF) 신호라인에 흐르는 교류 전류(I)는 패러데이 법칙에 의해 시간에 따라 변화하는 자기장(B)을 형성한다. 고주파(RF) 신호라인과 토로이달 코일이 이러한 자기장에 의한 유도 결합(Inductive coupling)을 통해 유도 기전력을 만들어내는데, 이 기전력으로 인해 토로이달 코일 표면에 전류 흐름이 발생한다.
- [0075] 종래에는 고주파(RF) 신호라인에 교류 전압이 인가됨에 따라 도체인 토로이달 코일과 송신선 사이의 전위차로부터 축전 결합(Capacitive coupling)이 발생하게 되는데, 이로 인해, 고주파(RF) 신호라인과 토로이달 코일 사이에 대체 전류(Displacement current)가 생기게 된다. 결과적으로, 토로이달 코일 내에는 유도 결합에 의한 전류뿐만 아니라 축전 결합에 의한 전류(노이즈)도 같이 측정되므로 고주파(RF) 전류에 대한 측정 정확성이 저하된다.
- [0076] 그러나, 본 발명에 따른 토로이달 코일은 접지에 대하여 부유된 상태이므로, 시변화 자기장에 의해 생긴 유도기전력으로 인해 토로이달 코일 양 끝(a, b)에 걸리게 되는 유도 결합 전압과, 고주파(RF) 신호라인과 축전 결합에 의한 축전 전압이 합쳐져 걸리게 된다.
- [0077] 만약 축전 결합에 의한 전압이 없다고 가정하면, 완벽 부유된 토로이달 코일엔 유도 결합 전압(V_I)만 인가된다. 토로이달 코일의 위치별 전압을 보면, 토로이달 코일의 가운데에는 접지 대비 0V 가 걸리게 되고 양끝 단에는 부호만 다르고 크기가 같은 전압이 걸리게 된다.
- [0078] 반대로 유도 결합에 의한 전압이 없다고 가정하면, 토로이달 코일에는 접지가 없어 전류의 흐름이 없어 위치와 상관없이 전체적으로 같은 크기의 축전 결합 전압(V_C)이 걸리게 된다.
- [0079] 종합적으로 보면, 이상적으로는 상기 토로이달 코일의 가운데 지점에는 축전 결합 전압(V_C)만이 걸리게 되고, 양 끝단에는 축전 결합 전압에 부호가 다르고 크기가 같은 유도 결합 전압의 합이 걸리게 된다.
- [0080] 즉, 상기 토로이달 코일의 가운데 지점에서의 측정 전압 V_4 는 축전 결합 전압(V_C)과 같다.
- [0081] 그러므로, 토로이달 코일 양 끝단에 걸리게 되는 전압(V_3) 혹은 양 끝단 각 지점에서 접지 대비 전압(V_1, V_2) 측정을 통해 유도 결합 전압, 토로이달 코일 가운데에서의 전압(V_4) 측정을 통해 축전 결합 전압(V_C)을 얻을 수 있다.
- [0082] 따라서, 본 발명에 따른 일체형 전압 및 전류 센서는, 완벽히 부유된 토로이달 코일을 이용하여 센서 간 누화가 존재하지 않는 일체형 센서로서 동작한다.

[0083] 즉, 축전 결합 전압(V_c)은 하기 [수학식 1]을 이용하여 계산한다.

[0084] [수학식 1]

$$1) V_a^I + V_b^I = 0$$

$$2) V_a = V_a^I + V_c$$

$$3) V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a + V_b = V_a^I + V_b^I + 2V_c$$

$$\text{Capacitive coupling voltage : } V_c = \frac{V_a + V_b}{2}$$

[0085]

[0086] (여기서, V_a 는 상기 토로이달 코일의 일측 끝단 a 지점의 전압, V_b 는 상기 토로이달 코일의 타측 끝단 b 지점의 전압, V_a^I 는 a 지점의 유도 결합 전압, V_b^I 는 b 지점의 유도 결합 전압)

[0087] 한편, 상기 유도 결합 전압(V_I)은 하기 [수학식 2]를 이용하여 계산한다.

[0088] [수학식 2]

$$V_a = V_a^I + V_c$$

$$V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a - V_b = V_a^I + V_c - V_b^I - V_c$$

$$\text{Inductive coupling voltage : } V_I = V_a - V_b$$

[0089]

[0090] 또한, 본 발명에 따른 일체형 전압 및 전류 센서는, 회로 구성이 간단하여 소형화가 가능하므로 임피던스 정합기(302)의 출력 임피던스에 영향이 최소화된다.

[0091] 한편, 일체형 센서를 이루기 위해선 완벽 부유가 실현되어야하는데, 임피던스가 낮은 데이터 수집 장치를 이용시, 전류의 흐름을 만들어 원하는 완벽 부유 토로이달 코일을 형성할 수 없다. 따라서, 이를 위해 매우 높은 임피던스를 가지거나, Balun 트랜스포머 형태로 이루어져 있는 데이터 수집 장치를 이용하는데, 대표적으로는 오실로스코프와 같은 장치가 있다.

[0092] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 모식도이고, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제1 테스트 센서의 모식도이고, 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제2 테스트 센서의 모식도이다.

[0093] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 각 전압 측정 포인트(V_1, V_2, V_3, V_4)에서의 전압을 나타내는 도면이고, 도 11a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제1 테스트 센서의 수평 단면도이고, 도 11b는 도 11a의 제1 테스트 센서의 각 전압 측정 포인트(V_1, V_2, V_3, V_4)에서의 전압을 나타내는 도면이고, 도 12a는 본 발명의 일 실시예에 따른 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증하기 위한 제2 테스트 센서의 수평 단면도이고, 도 12b는 도 12a의 제2 테스트 센서의 각 전압 측정 포인트(V_1, V_2, V_3, V_4)에서의 전압을 나타내는 도면이다.

[0094] 도 7 내지 9를 참고하면, 도 7은 고주파(RF) 신호라인 둘레를 토로이달 코일이 감싼 구조이고, 도 8은 고주파(RF) 신호라인 전체에 다수의 구멍이 형성된 차폐벽을 감싸고, 그 둘레를 토로이달 코일이 감싼 구조이고, 도 9는 고주파(RF) 신호라인 상에 차폐벽을 감싸고, 그 둘레를 토로이달 코일이 감싼 구조이다.

[0095] 도 8 및 도 11a를 참고하면, 제1 테스트 센서는 다수의 구멍이 뚫린 차폐벽 전체가 접지된 상태로 캐피시티브 효과를 테스트하며, 도 9 및 도 12a를 참고하면, 제2 테스트 센서는 차폐벽 한쪽만 접지된 상태로 인덕티브 효

과를 테스트 한다.

- [0096] 도 10, 11b, 및 12b는 도 7 내지 9의 각 센서에 대하여 전자기시뮬레이션(Computer simulation technology, CST)에 형상화하여 각 지점에서 시간에 따른 전압을 계산하였다. 여기서, 전자기시뮬레이션에서 사용된 고주파(RF)의 정보는, 파워는 1W, 정현파(sinusoidal wave) 주파수는 13.56 MHz, 인가 전압(V_{in})은 8.17 V 이다.
- [0097] 도 10을 참고하며, 전압과 전류를 대변하는 전압 V_1 , V_2 , V_3 , V_4 이 유도 결합과 축전 결합에 의한 효과의 합으로 나타나는 것을 확인하였다. 따라서, 각 지점에서의 전압이 정확히 유도 결합과 축전 결합을 각각 대변할 수 있는지 확인하기 위해, 차폐벽의 양쪽이 접지되어 있으며, 몸통부분에 구멍(Holes)이 뚫여 있는 모델과 전류의 흐름을 막기 위한 차폐벽의 한쪽이 open되어 있으며, 구멍이 뚫여 있지 않는 모델에 대한 결과를 검증하였다.
- [0098] 도 11a에 도시된 구멍이 뚫려 있는 차폐벽을 고주파(RF) 신호라인에 감싼 모델과 같은 경우, RF input과 출력 output에서의 경계조건을 open으로 두어 RF 입장에서 높은 임피던스를 보게 된다. 따라서, 고주파(RF) 전류가 output에 도달 후, 상대적으로 임피던스가 낮은 차폐벽으로 같은 양의 전류가 다시 input쪽으로 되돌아오는 경향을 가진다. 고주파(RF) 신호라인에 흐르는 고주파(RF) 전류가 만드는 자기장과 차폐벽에 흐르는 전류가 만드는 자기장이 서로 상쇄되어 차폐벽 외부에는 자기장이 형성될 수 없다. 이에 따라, 토로이달 코일과의 유도 결합을 막으며, 구멍을 통한 토로이달 코일과의 축전 결합을 할 수 있도록 만든 모델로써 축전 결합을 확인한다. 전류를 대변하는 전압 V_3 는 노이즈 형태로써 나오는 것을 확인하였고, 각 지점에서의 전압은 축전 결합 전압에 의해 같은 크기의 전압인 것을 확인할 수 있다.
- [0099] 도 12a에 도시된 구멍이 없는 차폐벽 모델과 같은 경우, 차폐벽의 한쪽을 끊어두어 전류의 흐름을 없게 만들어 유도 결합에 대한 효과는 살리고, 차폐벽에 구멍이 없어 축전 결합에 대한 효과를 없앴다. V_1 , V_2 , V_3 의 크기와 V_4 의 크기가 역전된 것을 확인할 수 있다. 또한 V_1 과 V_2 의 위상이 반대인 것을 확인할 수 있는데, 이는 앞서 언급한 축전 결합이 없는 경우일 때, 이상적으로 나타나는 전압 경향성과 같이 나오는 것으로 V_1 , V_2 , V_3 는 전류를 대변할 수 있는 전압이라는 것을 확인할 수 있다.
- [0100] 도 13은 제1 테스트 센서의 입력 전압에 따른 V_3 및 V_4 의 그래프이고, 도 14는 제2 테스트 센서의 입력 전압에 따른 V_3 및 V_4 의 그래프이다.
- [0101] 도 13 및 14는, 인가 전압이 8.17 V, 40.89 V, 81.77 V, 408.9 V, 817.8 V인 RF 조건에서 V_3 및 V_4 의 경향성을 확인하였다. 즉, V_3 및 V_4 을 각각 전압과 전류를 대변할 수 있는 전압으로 설정하고 인가 전압(V_{in}) 높여가며 경향성을 확인하였다.
- [0102] 도 13을 참고하면, 인가 전압의 증가와 함께 인가전류(I_{in}) 증가에도 불구하고 V_4 는 일정한 값이 유지되고, 이에 반해 V_3 는 선형적으로 증가한다.
- [0103] 반대로, 도 14에서는, 인가 전압의 증가에 따라 V_3 는 선형적으로 증가하고, V_4 는 V_3 의 증가 경향에 비해 소폭 증가한다.
- [0104] 결론적으로, 상기 시뮬레이션 검증을 통해, 본 발명이 제안하는 기술인 완벽 부유된 토로이달 코일을 이용하여 일체형 전압 및 전류 센서가 가능하다는 것을 알 수 있다.
- [0105] 도 15는 본 발명에 따른 플라스마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법의 일실시에 흐름도이다.
- [0106] 먼저, 일체형 전압 및 전류 센서를 준비한다(S1510).
- [0107] 상기 일체형 전압 및 전류 센서에 대하여, 저항값을 알고 있는 저항에 대하여, 입력 전압(V_{in}), 입력 전류(I_{in}), 축전 결합 전압(V_C), 및 유도 결합 전압(V_I)과의 관계 및 대응 값에 대한 록업테이블을 생성한다(S1520).
- [0108] 상기 준비된 일체형 전압 및 전류 센서의 인덕티브 커플링이 0이 되도록 하는 제1 테스트 센서를 준비한다(S1530).
- [0109] 상기 준비된 일체형 전압 및 전류 센서의 캐패시티브 커플링이 0이 되도록 하는 제2 테스트 센서를 준비한다(S1540).
- [0110] 이후, 상기 준비된 일체형 전압 및 전류 센서, 제1 테스트 센서, 및 제2 테스트 센서의 기설정된 지점의 전압을

측정하여, 일체형 전압 및 전류 센서의 특성을 검증한다(S1550).

[0111] 이후, 검증된 일체형 전압 및 전류 센서를 플라즈마 장치에서 임피던스 정합부의 출력단과 챔버의 소스부 사이에 구비한다(S1560).

[0112] 이후, 소스부에 인가되는 전압 및 전류를 모니터링한다(S1570).

[0113] 상기 모니터링단계(S1570)에서는,

[0114] 상기 토로이달 코일의 일측 끝단의 전압(V_1), 상기 토로이달 코일의 타측 끝단의 전압(V_2), 상기 토로이달 코일의 양 끝단 사이의 전압(V_3), 및 상기 토로이달 코일의 중간 지점의 전압(V_4)을 측정하고, 축전 결합 전압(V_c) 및 유도 결합 전압(V_l)을 계산한다.

[0115] 여기서, 상기 토로이달 코일의 중간 지점에서 측정된 전압(V_4)은 바로 축전 결합 전압(V_c)이 될 수 있다.

[0116] 이후, 상기 록업테이블을 이용하여 상기 계산한 축전 결합 전압(V_c)에 대응하는 입력 전압 및 상기 계산한 유도 결합 전압(V_l)에 대응하는 입력 전류를 계산한다.

[0117] 축전 결합 전압(V_c)은 하기 [수학식 3]을 이용하여 계산한다.

[0118] [수학식 3]

$$1) V_a^I + V_b^I = 0$$

$$2) V_a = V_a^I + V_c$$

$$3) V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a + V_b = V_a^I + V_b^I + 2V_c$$

$$\text{Capacitive coupling voltage : } V_c = \frac{V_a + V_b}{2}$$

[0119]

[0120] (여기서, V_a 는 상기 토로이달 코일의 일측 끝단 a 지점의 전압, V_b 는 상기 토로이달 코일의 타측 끝단 b 지점의 전압, V_a^I 는 a 지점의 유도 결합 전압, V_b^I 는 b 지점의 유도 결합 전압)

[0121] 한편, 상기 유도 결합 전압(V_l)은 하기 [수학식 4]를 이용하여 계산한다.

[0122] [수학식 2]

$$V_a = V_a^I + V_c$$

$$V_b = V_b^I + V_c$$

$$V_a - V_b = V_a^I + V_c - V_b^I - V_c$$

$$\text{Inductive coupling voltage : } V_l = V_a - V_b$$

[0123]

[0124] 이상에서 본 발명의 일 실시예에 따른 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법에 대하여 설명하였지만, 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법을 구현하기 위한 프로그램이 저장된 컴퓨터 판독 가능한 기록매체 및 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법을 구현하기 위한 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 저장된 프로그램 역시 구현 가능함은 물론이다.

[0125] 즉, 상술한 플라즈마 장치에서의 전압 및 전류 모니터링 방법은 이를 구현하기 위한 명령어들의 프로그램이 유형적으로 구현됨으로써, 컴퓨터를 통해 판독될 수 있는 기록매체에 포함되어 제공될 수도 있음을 당업자들이 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 다시 말해, 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어, 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록매체는 프로그램 명령,

데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능한 기록매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리, USB 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0126] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

[0127]

301: 고주파 생성기

302: 임피던스 정합기

303: 일체형 전압 및 전류 센서

304: 소스부

401: 고주파(RF) 신호라인

402: 토로이달 코일

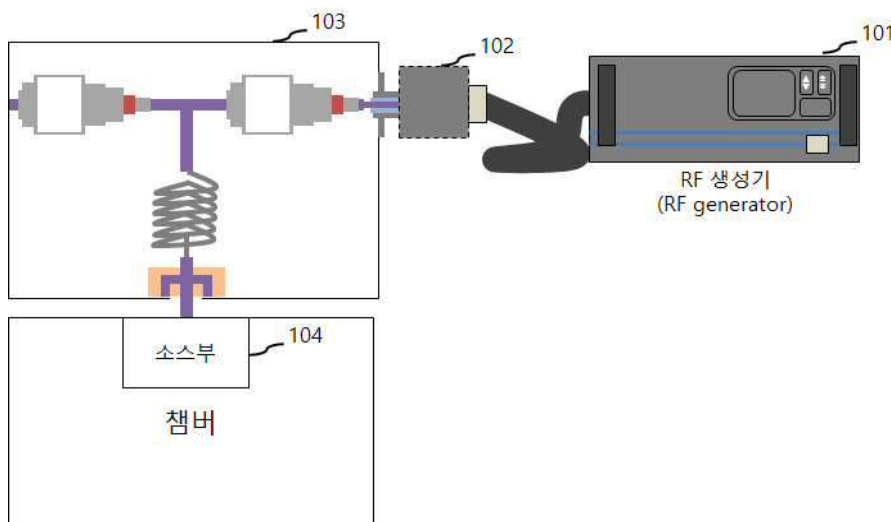
403: 데이터 수집부

404: 쉘딩 박스

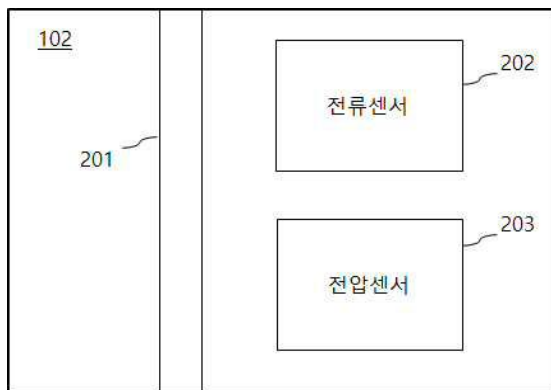
405: 절연체

도면

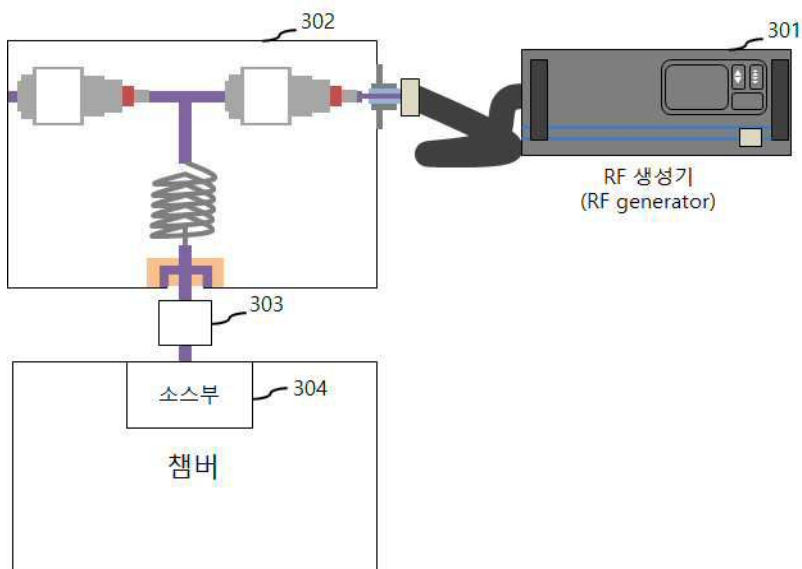
도면1



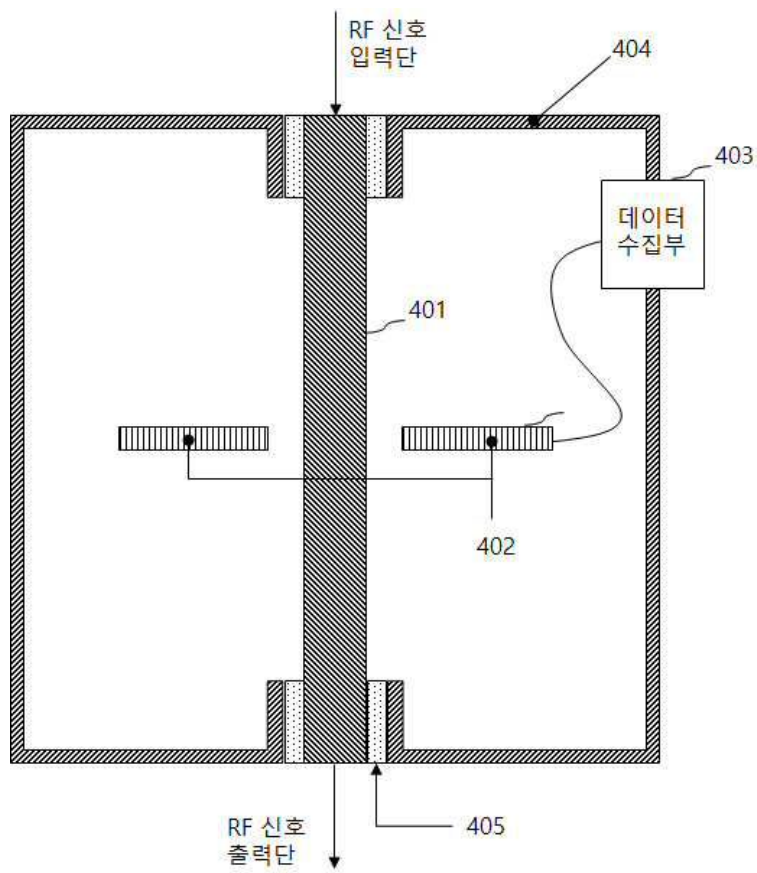
도면2



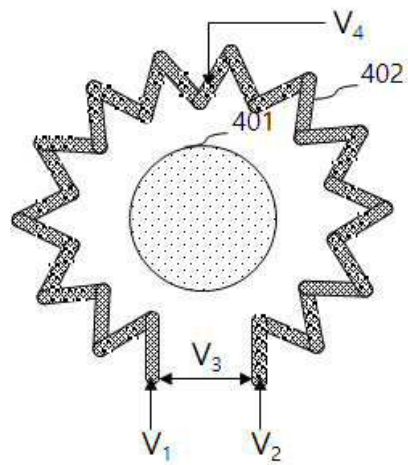
도면3



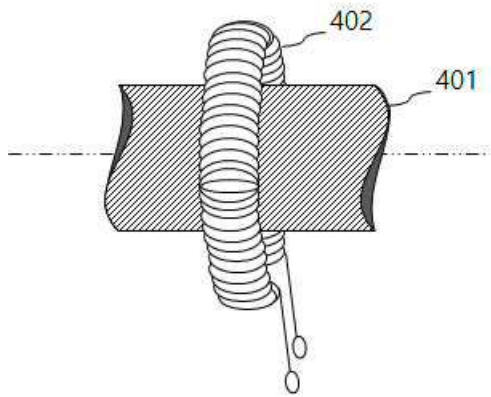
도면4a



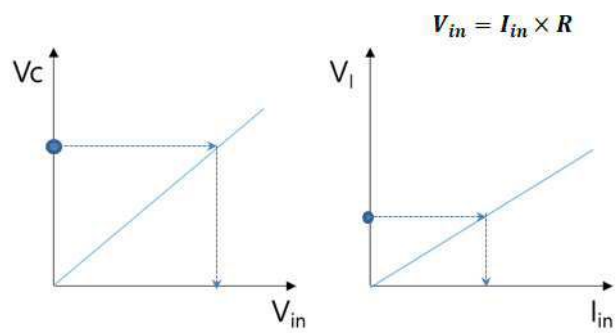
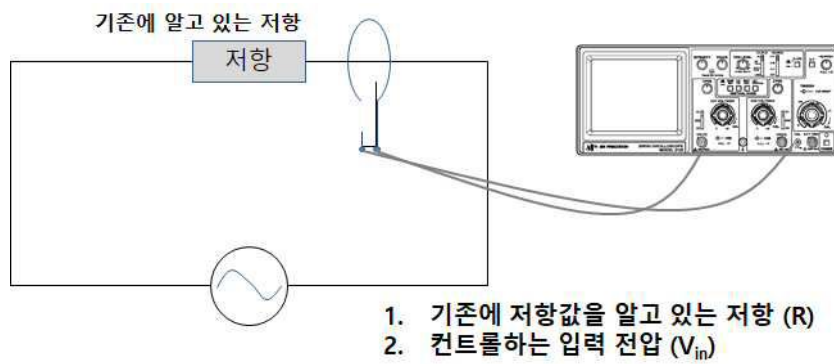
도면4b



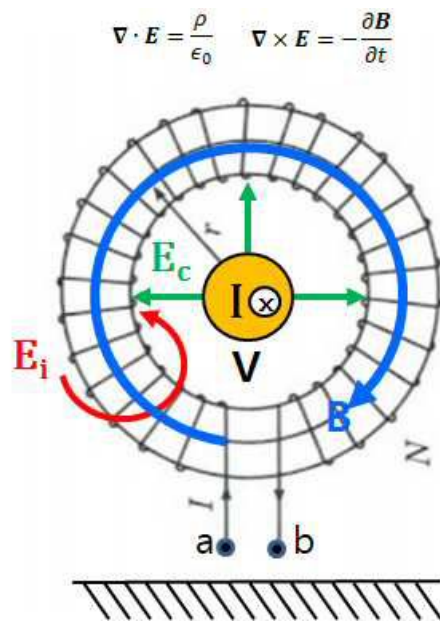
도면4c



도면4d

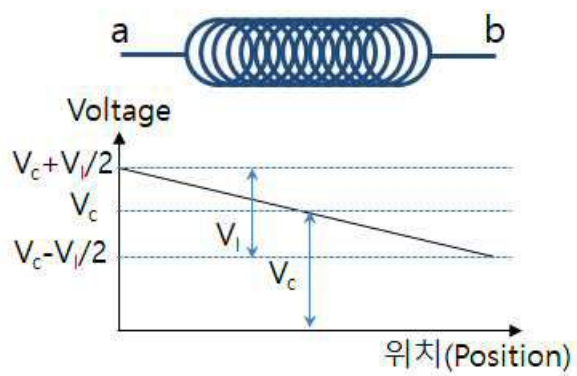


도면5a



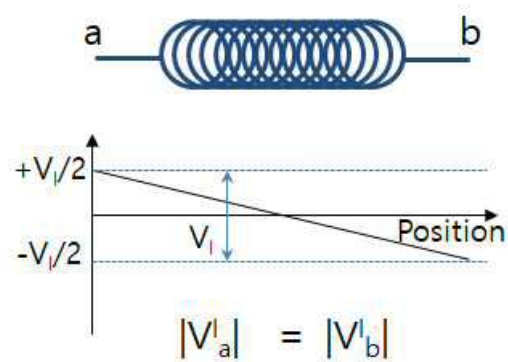
도면5b

토로이달 전압 = $V_c + V_l$



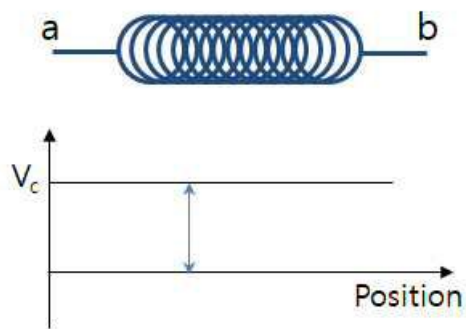
도면5c

축전 결합에 의한 전압이 없는 경우

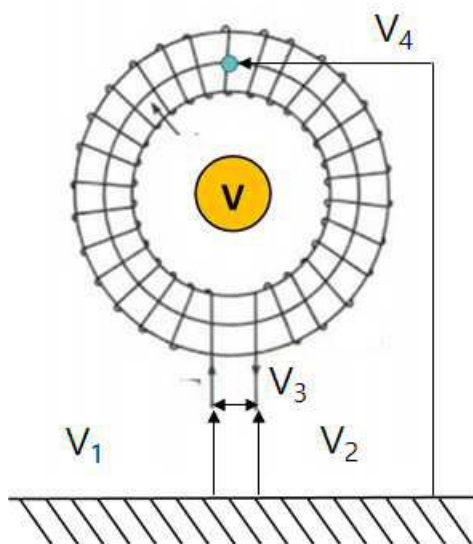


도면5d

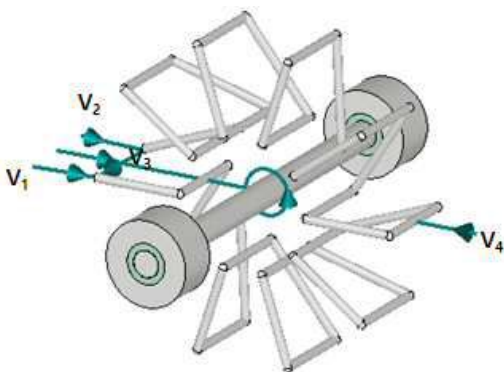
유도 결합에 의한 전압이 없는 경우



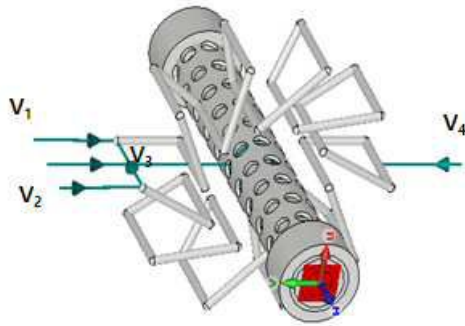
도면6



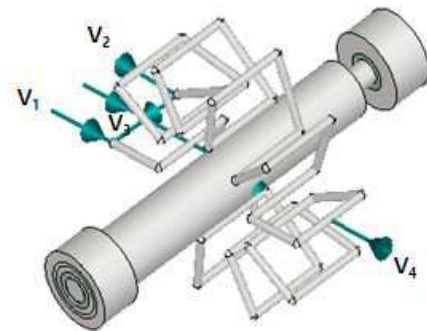
도면7



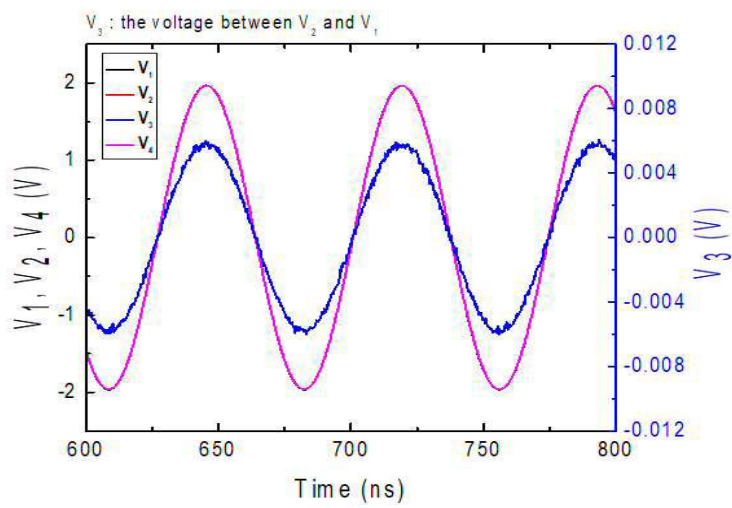
도면8



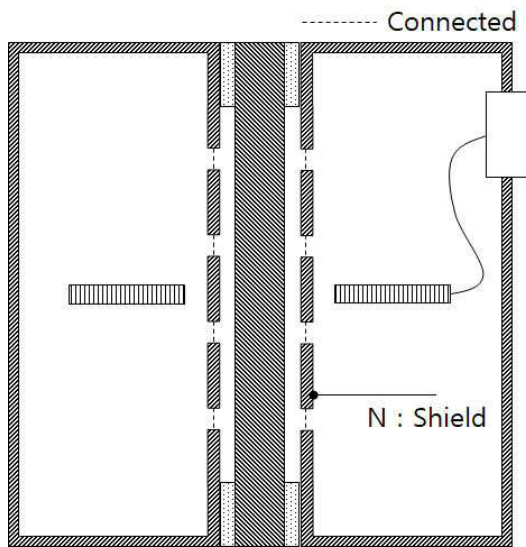
도면9



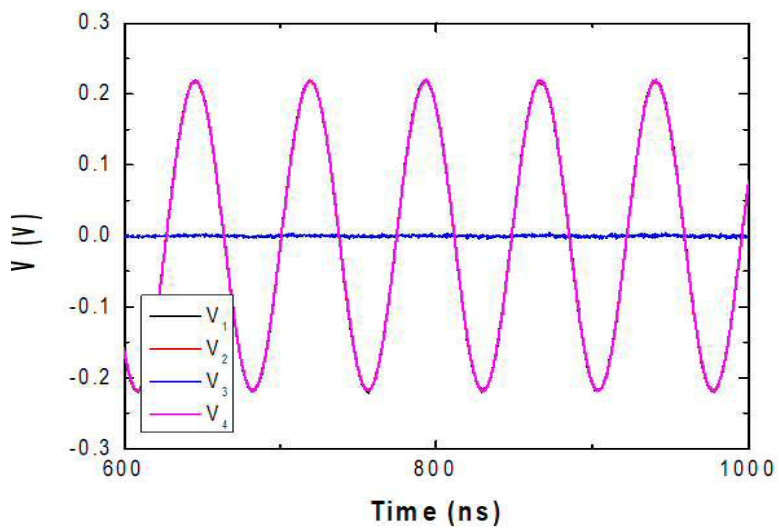
도면10



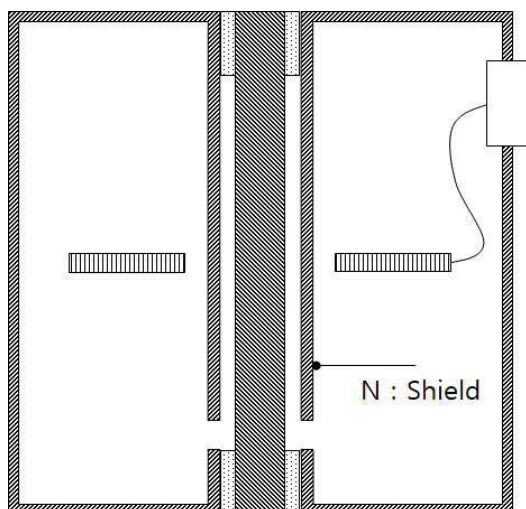
도면11a



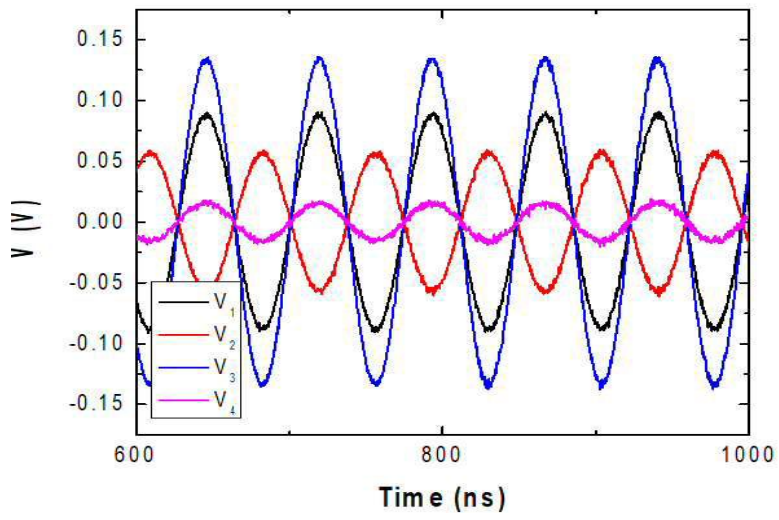
도면11b



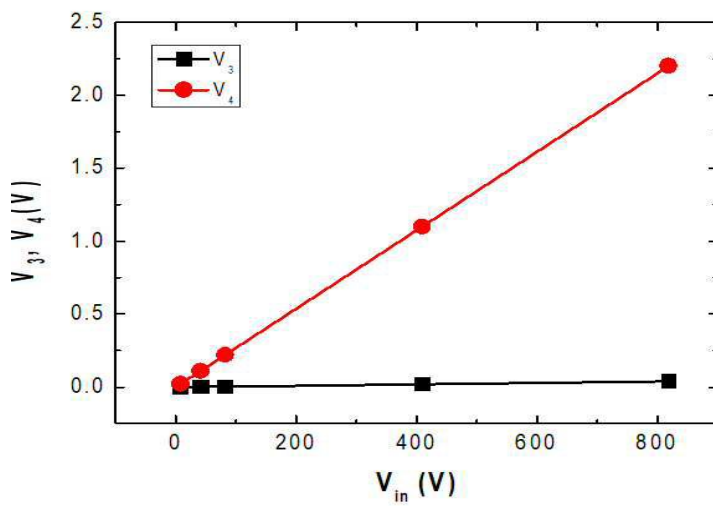
도면12a



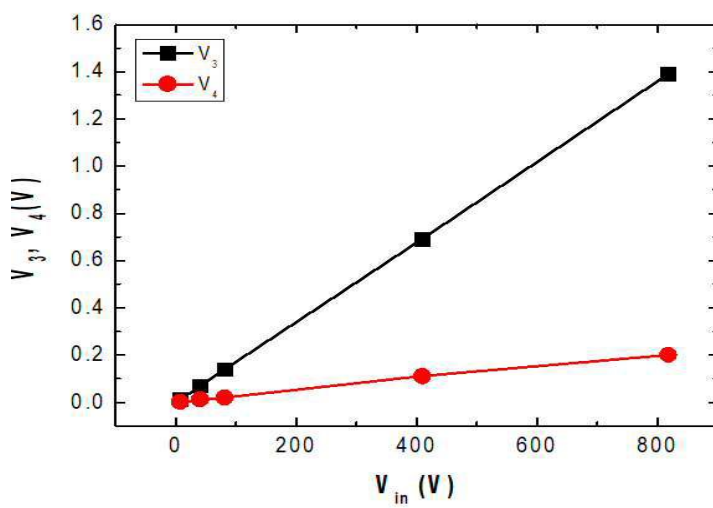
도면12b



도면13



도면14



도면15

