



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

(45) 공고일자 2015년11월19일  
 (11) 등록번호 10-1570552  
 (24) 등록일자 2015년11월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
 H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/205 (2006.01)  
 H01L 21/66 (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2010-7025359  
 (22) 출원일자(국제) 2009년05월04일  
 심사청구일자 2014년05월02일  
 (85) 번역문제출일자 2010년11월11일  
 (65) 공개번호 10-2011-0021768  
 (43) 공개일자 2011년03월04일  
 (86) 국제출원번호 PCT/US2009/002726  
 (87) 국제공개번호 WO 2009/139828  
 국제공개일자 2009년11월19일  
 (30) 우선권주장  
 12/149,982 2008년05월12일 미국(US)  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2003100714 A  
 JP2008016517 A

(73) 특허권자  
**램 리써치 코퍼레이션**  
 미국 94538 캘리포니아주 프레몬트 쿠싱 파크웨이 4650  
 (72) 발명자  
**허드슨 에릭**  
 미국 94707 캘리포니아주 버클리 카탈리나 애비뉴 1820  
**피셔 안드레아스**  
 미국 94552 캘리포니아주 엘라메다 카스트로 밸리 마운틴 라센 드라이브 18989  
 (74) 대리인  
**오세일**

전체 청구항 수 : 총 19 항

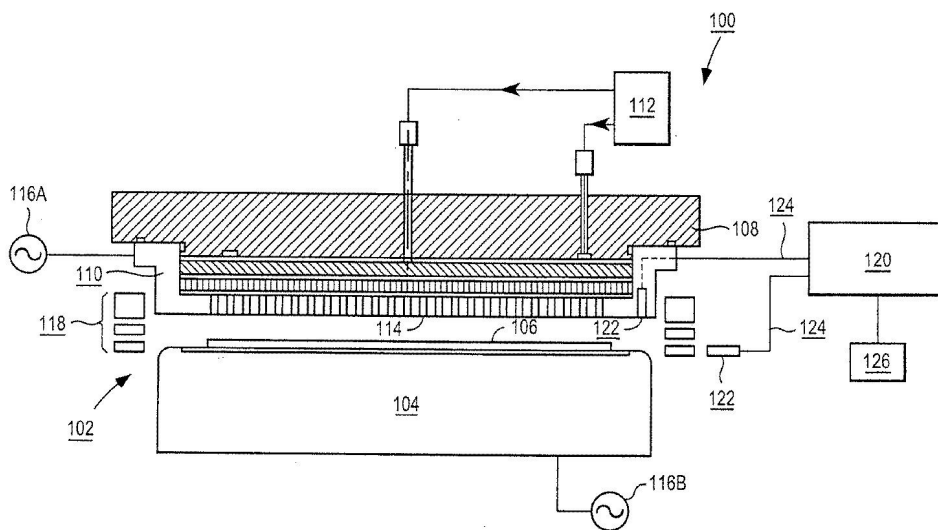
심사관 : 이정은

(54) 발명의 명칭 웨이퍼 플라즈마 처리에서 미량 가스 농도의 모니터링을 통한 아킹 이벤트의 검출

**(57) 요약**

반도체 플라즈마 처리 장치에서 기판 아킹을 검출하는 방법이 제공된다. 기판은 플라즈마 처리 장치의 반응 챔버에서 기판 지지부 상에 위치된다. 처리 가스는 반응 챔버로 주입된다. 처리 가스로부터 플라즈마가 발생되고, 기판이 이 플라즈마로 프로세싱된다. 플라즈마 처리 동안 반응 챔버에서 생성된 선택 가스종의 실시간 분석 신호의 강도가 모니터링된다. 선택 가스종들은 기판 아킹 이벤트에 의해 생성된다. 아킹 이벤트는 강도가 임계값을 넘는 경우 검출된다.

**대표도**



## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

반도체 플라즈마 처리 장치에서 기판 아킹 (arching) 을 검출하기 위한 방법으로서,

플라즈마 처리 장치의 반응 챔버 내의 기판 지지부 상에 기판을 위치시키는 단계;

상기 반응 챔버에 처리 가스를 도입하는 단계;

상기 처리 가스로부터 플라즈마를 생성하는 단계;

상기 플라즈마에 의해 상기 기판을 처리하는 단계;

플라즈마 처리 동안 상기 반응 챔버에서 생성된 선택 가스종들 (selected gas species) 의 실시간 질량 분석 (spectrometry) 신호들의 강도들을 모니터링하는 단계로서, 상기 선택 가스종들은 기판 아킹 이벤트에 의해 생성되는, 상기 모니터링하는 단계; 및

상기 강도들이 임계값을 넘는 경우 상기 기판 아킹 이벤트를 검출하는 단계를 포함하는, 기판 아킹 검출 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 기판은 알루미늄, 구리, 실리콘, 유기 유전체 또는 유기 포토레지스트를 포함하며, 상기 기판 아킹 이벤트에 의해 생성된 상기 선택 가스종들은 알루미늄-함유 종, 구리-함유 종 또는 실리콘-함유 종 및/또는 유기 재료의 분해 생성물을 포함하는, 기판 아킹 검출 방법.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 기판 아킹 이벤트에 의해 생성된 선택 가스종들을 식별하는 단계를 더 포함하며,

상기 식별하는 단계는,

상기 기판 아킹 이벤트의 부재시 상기 처리 가스의 실시간 질량 분석 신호들의 강도들을 모니터링하는 단계;

상기 기판 아킹 이벤트 동안 실시간 질량 분석 신호들의 강도들을 모니터링하는 단계; 및

상기 기판 아킹 이벤트의 부재시의 상기 처리 가스들의 실시간 질량 분석 신호들의 상기 강도들을 상기 기판 아킹 이벤트 동안의 실시간 질량 분석 신호들의 상기 강도들과 비교하는 단계를 포함하는, 기판 아킹 검출 방법.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 실시간 질량 분석 신호들의 강도들을 모니터링하는 단계는, 잔류 가스 분석기 (RGA) 질량 분석기에 의해 수행되는, 기판 아킹 검출 방법.

#### 청구항 5

제 3 항에 있어서,

상기 선택 가스종들은 잔류 가스 분석기 (RGA) 에 있어서 12, 15, 25, 26, 85 또는 86 원자질량 유닛 (AMU) 에서 신호들을 생성하는 분해 생성물들을 포함하는, 기판 아킹 검출 방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,

아킹 이벤트가 검출된 경우 상기 플라즈마 처리를 종료하도록 경고 신호를 생성하는 단계를 더 포함하는, 기관 아킹 검출 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 반응 챔버에 처리 가스들을 도입하는 단계는 샤워헤드를 통해 처리 가스를 주입함으로써 수행되며;

상기 선택 가스종들의 실시간 질량 분석 신호들의 강도들을 모니터링하는 단계는 상기 기관에 인접한 샘플링 튜브 또는 상기 샤워헤드의 채널로부터 가스종들을 수집하는 단계를 포함하는, 기관 아킹 검출 방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 플라즈마에 의해 상기 기관을 처리하는 단계는, (a) 반도체들, 금속들 또는 유전체들의 플라즈마 에칭, 또는 (b) 전도성 재료 또는 유전체 재료의 증착을 포함하는, 기관 아킹 검출 방법.

**청구항 9**

제 8 항에 있어서,

플라즈마 에칭을 위한 상기 처리 가스들은 탄화수소 가스들, 플루오로카본 가스들, 히드로플루오로카본 가스들, 할로젠-함유 가스들, 산소-함유 가스들, 질소-함유 가스들, 불활성 가스들, 및 이들의 혼합물들을 포함하는, 기관 아킹 검출 방법.

**청구항 10**

제 8 항에 있어서,

증착을 위한 처리 가스들은  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{SiF}_4$ ,  $\text{Si}_2\text{H}_6$ , 테트라에틸오르소실리케이트 (TEOS; tetraethylorthosilicate), 테트라메틸시클로테트라실록산 (TMCTS; tetramethylcyclotetrasiloxane) 으로 구성되는 그룹으로부터 선택된 실리콘-함유 반응물 가스를 단독으로 포함하거나, 상기 실리콘-함유 반응물 가스를  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ , 및 이들의 혼합물을 포함하는 부가적인 처리 가스들과 조합하여서 포함하는, 기관 아킹 검출 방법.

**청구항 11**

반응 챔버의 내부 내에 기관을 지지하기 위한 기관 홀더;

가스 분배 부재를 이용하여 상기 반응 챔버의 상기 내부에 처리 가스를 공급하는 가스 공급부;

상기 반응 챔버의 상기 내부에 에너지를 공급하며 상기 기관을 처리하기 위해 상기 처리 가스를 플라즈마 상태로 에너지화하는 전원 공급부;

기관 아킹에 의해 생성된 가스종들을 식별하기 위해 플라즈마 처리 동안 상기 반응 챔버에서 가스종들을 모니터링하도록 구성된 가스 센서; 및

기관 아킹에 의해 생성된 가스종들이 상기 가스 센서에 의해 식별된 경우 경고 신호를 생성하기 위한 알람을 구비하는, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 가스 센서는 잔류 가스 분석기 (RGA) 질량 분석기, 유도 결합형 플라즈마 광학 방출 (ICP-OE) 분석기, 적외선 흡수 분석기 (infrared absorption spectrometer), 또는 푸리에 변환 적외선 (Fourier transform infrared, FTIR) 분석기인, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 13**

제 11 항에 있어서,

상기 가스 센서는 플라즈마 처리 동안 처리 가스들의 질량 분석으로부터의 실시간 신호를 모니터링하도록 구성된 잔류 가스 분석기 (RGA) 질량 분석기이고, 기관 아킹에 의해 생성된 상기 가스종들은 유기 포토레지스트의 분해 생성물들인, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 14**

제 11 항에 있어서,

상기 플라즈마 처리 장치는 반도체들, 금속들 또는 유전체들에 적용된 플라즈마 에처 (etcher); 또는 전도성 재료 또는 유전체 재료를 증착하도록 구성된 증착 챔버인, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 15**

제 11 항에 있어서,

상기 가스 분배 부재는 샤워헤드인, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 16**

제 15 항에 있어서,

플라즈마 처리 동안 상기 반응 챔버로부터 가스종들을 수집하도록 구성된 샘플링 구조체; 및  
상기 가스 센서로 가스 종들을 전달하도록 구성된 가스 라인을 더 구비하는, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 17**

제 16 항에 있어서,

상기 샘플링 구조체는 상기 샤워헤드의 채널 또는 상기 기관 홀더에 근접한 튜브이며, 상기 가스 라인은 가열되는, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 18**

제 11 항에 있어서,

상기 가스 분배 부재는 샤워헤드 전극이며, 상기 전원은 무선 주파수 (RF) 전원인, 플라즈마 처리 장치.

**청구항 19**

제 18 항에 있어서,

상기 샤워헤드 전극 및 상기 기관 홀더의 외부에 위치된 플라즈마 한정 링 어셈블리를 더 포함하는, 플라즈마 처리 장치.

**발명의 설명**

**배경 기술**

[0001]

플라즈마 처리 장치는 에칭 (etching), 물리기상 증착 (PVD), 화학기상 증착 (CVD), 이온 주입, 및 레지스트 제거를 포함하는 기술에 의해 기관을 처리하는데 사용된다. 플라즈마 처리에 사용되는 플라즈마 처리 장치의 일 유형은 상부 및 하부 전극을 포함하는 반응 챔버 (reaction chamber) 를 포함한다. 전극 사이의 RF 생성 플라즈마는 웨이퍼 기관 및 반응 챔버 내의 챔버 부분을 에칭하는 에너지 이온 (energetic ions) 및 중성종 (neutral species) 을 생성한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0002]

일 실시형태에서, 반도체 플라즈마 처리 장치에서의 기관 아킹 (substrate arcing) 을 검출하는 방법이 제공된다. 기관은 플라즈마 처리 장치의 반응 챔버의 기관 지지부 상에 배치된다. 처리 가스는 반응 챔버로

도입된다. 플라즈마는 처리 가스로부터 생성되며 기판은 플라즈마에 의해 처리된다. 플라즈마 처리 동안 반응 챔버에서 생성된 선택 가스종의 실시간 분석 신호 (spectrometry signals) 의 강도가 모니터링된다. 선택 가스종은 기판 아킹 이벤트에 의해 생성된다. 아킹 이벤트는 강도가 임계값보다 높은 경우 검출된다.

[0003]

다른 실시형태에서, 플라즈마 처리 장치는 반응 챔버의 내부 내의 기판을 지지하는 기판 홀더를 포함한다. 가스 공급부는 가스 분배 부재를 사용하여 반응 챔버의 내부에 처리 가스를 공급한다. 전원 공급부는 반응 챔버의 내부에 에너지를 공급하며 기판을 처리하기 위해 처리 가스를 플라즈마 상태로 에너지화한다. 가스 센서는 기판 아킹에 의해 생성된 가스종들을 식별하기 위해 플라즈마 처리 동안 상기 반응 챔버에서 가스종들을 모니터링하도록 구성된다. 알람은 기판 아킹에 의해 생성된 가스종이 식별된 경우 경고 신호를 생성한다.

**도면의 간단한 설명**

[0004]

도 1a는 플라즈마 장치의 예시적인 실시형태의 단면도이다.  
 도 1b는 유도 결합형 플라즈마 처리 장치의 단면도이다.  
 도 2a는 Ar 플라즈마에서 유기 포토레지스트로 코팅된 실리콘 쿠폰 (coupon) 의 처리에 대한 원자질량의 함수로서의 강도의 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 (real-time) 신호이다.  
 도 2b는 Ar 플라즈마에서 처리 동안 쿠폰의 후면에 도포된 열적 페이스트 (thermal paste) 와 함께 유기 포토레지스트로 코팅된 실리콘 쿠폰의 처리에 대한 원자질량의 함수로서의 강도의 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 (real-time) 신호이다.  
 도 2c는 Ar 플라즈마에서 처리 동안 실리콘 쿠폰의 처리에 대한 원자질량의 함수로서의 강도의 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호이다.  
 도 3은 CF<sub>4</sub> 플라즈마에서 실리콘 쿠폰의 처리에 대한 원자질량의 함수로서의 강도의 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호이다.  
 도 4a는 Ar 플라즈마에서 유기 포토레지스트로 코팅된 실리콘 쿠폰의 처리에 대한 아킹 이벤트의 발생 동안의 원자질량 함수로서의 강도의 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호이다.  
 도 4b는 Ar 플라즈마에서 유기 포토레지스트로 코팅된 실리콘 쿠폰의 처리에 대한 아킹 이벤트의 발생 동안의 시간 함수로서의 강도의 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호이다.  
 도 5는 플라즈마가 발생되지 않는 CF<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> 가스혼합물에 대한 원자질량의 함수로서의 강도의 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0005]

반도체 재료는 재료의 층들의 선택적 적층 및 제거에 의해 트랜지스터, 다이오드, 커패시터 등과 같은 특정 전자 디바이스로 제조될 수 있다. 집적 회로의 제작에 있어서, 칩 상의 디바이스 수의 지속적인 증가 및 그에 따른 최소 피처 사이즈 감소는 때때로 어려운 토폴로지 상에 상이한 재료의 층을 증착하고 재료를 제거하며 그러한 층들 내에 피처들을 형성하는 것을 포함하는 집적회로 제작에 사용되는 다수의 제작 단계 시에 어려운 요구들을 점점 더 증가시키고 있다.

[0006]

플라즈마 강화 화학기상 증착 (PECVD) 은 반도체 집적 회로에서 다양한 박막 (film) 을 형성하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, PECVD는 고 순도 및 고 품질로 SiO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si 등과 같은 박막을 형성할 수 있다. 박막 형성의 반응 처리에서, 원재료는 가스 상태의 성분의 형태로 반응 챔버에 공급될 수 있으며, 이로 인해 가스 상태의 분자는 열적으로 분해되며 박막을 형성하도록 가스 내에서 및 기판의 표면상에서 결합한다.

[0007]

에칭은 주어진 기판으로부터 반도체 또는 다른 재료의 층을 제거하며 집적 회로 상에 피처를 형성하기 위한 하나의 기술이다. 예를 들어, 개구 (예로, 트렌치 또는 비아) 는 유기 포토레지스트와 같은 상부 마스크 층을 증착함으로써 기판 층에 형성될 수 있다. 마스크 층은 트렌치, 콘택 또는 비아의 형태로 패터닝될 수 있으며, 그 후 에칭이 수행된다.

[0008]

플라즈마 에칭은 다양한 웨트 (wet) 에칭 방법과 비교하여 더 나은 해상도 및 개선된 치수 및 형상 제어 능력

때문에 전자 디바이스를 제작하는 데 있어 특별한 관심을 받고 있다. 따라서, 플라즈마 에칭은 대규모 집적 디바이스 및 집적 회로를 형성하도록 반도체 웨이퍼의 처리와 같이 우수한 패턴 제어 및 설계가 요구되는 곳에서 바람직하게 사용된다.

[0009] 플라즈마 반응기는 드라이 에칭 또는 증착을 포함하는 마이크로전자 제조에서 반도체 웨이퍼 상에 다양한 처리를 수행하도록 채용될 수도 있다. 웨이퍼는 반응기의 진공 챔버 내에 놓이고 식각액 (etchant) 또는 증착 가스를 포함하는 처리 가스가 챔버 내로 도입된다. 가스는 플라즈마를 접화 및 유지하도록 에너지화된다.

플라즈마가 형성되는 가스의 성분에 따라, 플라즈마는 웨이퍼로부터 특정한 재료를 에칭하도록 채용될 수도 있으며 또는, 웨이퍼 상에 재료의 박막층을 증착하도록 채용될 수도 있다. 처리 챔버는 처리 가스 (즉, 에칭 화학 물질) 를 수용하도록 구성되며, RF (radio frequency) 전원이 처리 챔버의 하나 이상의 전극에 인가된다. 또한, 처리 챔버 내의 압력은 특정한 처리를 위해 제어된다. 전극들에 원하는 RF 전원이 인가되면, 챔버 내의 처리 가스는 플라즈마가 생성되도록 활성화된다. 이에 따라 플라즈마가 생성되어, 반도체 웨이퍼의 선택된 층의 원하는 에칭을 수행한다.

[0010] 집적 회로 디바이스는 물리적 사이즈 및 동작 전압 모든 면에서 계속 감소되며, 이들의 연관된 제조 수율은 중요한 피처에 영향을 주는 임의의 결함에 더욱 민감해진다. 웨이퍼 표면상의 결함은 포토리소그래피 및 에칭 단계 동안의 패턴 전사를 국부적으로 붕괴시킬 수 있다.

[0011] 결함의 이러한 원인 중 하나는 웨이퍼의 플라즈마 처리 중에 발생할 수 있는 아킹 이벤트와 관련된다. 일반적으로, 아킹은 반응기 및/또는 웨이퍼의 두 표면 간의 전류를 전달하는 과도 고 밀도 플라즈마 필라멘트 (filament) 를 지칭한다. 기관 아킹은 웨이퍼 내의 두 위치 간 또는 반응기 및 웨이퍼 간에서 발생하는 아킹을 지칭한다. 기관 아킹은 재료의 원치않는 스퍼터링, 재료의 원치 않는 증착 또는 일부 재료의 높은 휘발을 포함하는 웨이퍼의 재료 열화를 잠재적으로 발생시킬 수 있다. 통상적으로 아크가 작은 직경 및 짧은 지속시간을 갖는다 하더라도, 아크의 전원 밀도는 총 전원 소산이 작더라도 증대한 손상을 야기할 수 있다. 예를 들어, 기관 아킹 이벤트는 게이트 구조, (유기 또는 무기) 층간 유전체층, 또는 금속성 상호접속 라인을 포함하는 중요한 피처를 손상할 수 있는 (즉, 마이크론 정도의) 미세 크레이터를 생성할 수 있다. 따라서 기관 아킹을 경험하는 플라즈마 처리 장치가 다수의 웨이퍼가 손상되기 전에 유지보수를 위해 라인 밖으로 나가게 확보하도록 실시간으로 기관 아킹을 검출하는 신뢰성 있는 방법에 대한 필요성이 존재한다.

[0012] 플라즈마 처리 장치에서 기관 아킹에 의해 생성되는 가스종의 식별 및 가스종의 실시간 모니터링을 통해, 기관 아킹을 검출하는 방법이 제공된다. 웨이퍼 표면 및 플라즈마 챔버 표면 간 또는 웨이퍼 내에서의 기관 아킹 이벤트는 플라즈마로 휘발성 종 (volatile species) 를 방출한다. 예를 들어, 기관 아킹 이벤트는 기관의 빠른 가열을 야기시킬 수 있고 웨이퍼 표면 근방에서 분해 생성물의 농도에 급작스런 증가 또는 스파이크를 발생시키는, 실리콘, 알루미늄, 구리 (즉, 알루미늄-함유 종, 구리-함유 종, 실리콘-함유 종) 또는 유기 재료 (즉, 포토레지스트 또는 유기 유전체) 와 연관된 휘발성 분해 생성물을 방출할 수 있다. 포토레지스트의 분해와 관련된 생성물은, 예를 들어, 웨이퍼 표면 근방에 위치한, 가스 농도를 측정할 수 있는 센서로 확산할 수 있는 보다 안정된 분자를 생성할 수 있다. 다른 한편으로는, 실리콘, 알루미늄, 또는 구리와 관련된 분해 생성물은 검출 이전에 웨이퍼의 표면에 축적할 수도 있다.

[0013] 기관 아킹 이벤트는 (예로, 유기 재료의 분해로부터의) 가스 상태의 종을 생성할 수 있더라도, 일부 가스상태의 종은 처리 가스 (즉, 에칭 가스 또는 CVD 가스) 의 고 백그라운드 농도로 인해 검출 불가능할 수도 있다. 에칭을 위해 사용된 처리 가스의 예들은 탄화수소 가스 (예로,  $C_xH_y$ ), 플루오로카본 가스 (예로,  $C_xF_y$ ), 히드로 플루오로카본 가스 (예로,  $C_xH_yF_z$ ), 할로젠-함유 가스 (예로,  $NF_3$ ,  $HBr$ ,  $Cl_2$ ), 산소-함유 가스 (예로,  $O_2$ ), 질소-함유 가스 (예로,  $N_2$ ,  $NH_3$ ) 또는 불활성 가스 (예로,  $He$ ,  $Ar$ ) 를 포함한다. 박막 증착에 사용되는 처리 가스의 예는,  $SiH_4$ ,  $SiF_4$ ,  $Si_2H_6$ , 테트라에틸오르소실리케이트 (TEOS; tetraethylorthosilicate), 테트라메틸시클로테트라실록산 (TMCTS; tetramethylcyclotetrasiloxane) 및 이들의 혼합물을 포함하는 그룹으로부터 선택된 실리콘-함유 반응물 가스를 포함한다. 박막 증착을 위한 처리 가스는  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2O$ ,  $NO$  및 그것들의 혼합물을 포함한다.

[0014] 도 1은 에칭을 위한 예시적인 반도체 재료 플라즈마 처리 장치 (100) 를 도시한다. 플라즈마 처리 장치 (100) 는 플라즈마 처리 동안 기관 (106) 이 지지되는 기관 지지부 (104) 를 포함하는 반응 챔버 (102) 를 구비한다. 반응 챔버 (102) 의 내부에서 기관 (106) 을 지지하기 위한 기관 지지부 (104) 는 처리 동안 기관 지지부 (104) 상에서 기관 (106) 을 클램핑하도록 동작할 수 있는 클램핑 디바이스, 바람직하게는 정전 척

(electrostatic chuck) 을 포함할 수 있다.

- [0015] 도 1에 도시된 예시적인 플라즈마 처리 챔버 (100) 는 반응 챔버 (102) 의 벽을 형성하는 상단 플레이트 (108) 및 상부 플레이트 (108) 에 부착된 샤워헤드 (showerhead) 전극 (110) 을 갖는 샤워헤드 전극 어셈블리를 포함한다. 가스 공급부 (112) 는 샤워헤드 전극 (110) 을 통하여 반응 챔버 (102) 의 내부에 처리 가스를 공급한다. 샤워헤드 전극 (100) 은 샤워헤드 전극 (110) 과 기판 지지부 (104) 사이에 위치한 플라즈마 반응 챔버 (102) 의 공간에 처리 가스를 주입하기 위해 샤워헤드 전극 (110) 의 두께를 관통하여 연장되는 다수의 가스 통로 (114) 를 포함한다.
- [0016] 처리 가스는 샤워헤드 전극 (110) 을 통해 반응 챔버 (102) 의 내부로 흐른다. 그 후, 처리 가스는 샤워헤드 전극 (110) 을 구동하는 RF 소스와 같은 전원 (116A) 및/또는 대략 0.3에서 대략 600MHz까지의 (예로, 2MHz, 13.56 MHz, 60MHz) 하나 이상의 주파수에서 기판 지지부 (104) 의 전극을 구동하는, 대략 0.3에서 대략 600MHz까지의 (예로, 2MHz, 13.56 MHz, 60MHz) 하나 이상의 주파수 의 전원 (116B) 에 의해 플라즈마 처리 챔버에서 플라즈마 상태로 에너지화된다. 샤워헤드 전극 (110) 에 인가된 RF 전원은 상이한 가스 성분이 플라즈마 처리 장치 (100) 에 공급된 경우와 같은 상이한 처리 단계를 수행하도록 변경될 수 있다. 다른 실시형태에서 샤워헤드 전극 (110) 은 접지될 수 있다.
- [0017] 일 실시 형태에 있어서, 플라즈마는 2개의 RF 소스로부터의 RF 에너지를 샤워헤드 전극 (110) 및/또는 기판 지지부 (104) 로 공급함으로써 플라즈마 처리 챔버 (100) 의 내부에 생성될 수 있으며, 또는 샤워헤드 전극 (110) 은 전기적으로 접지될 수 있으며, 단일 주파수 또는 다중의 주파수의 RF 에너지는 기판 지지부 (104) 에 공급될 수 있다. 부가적으로, 플라즈마 한정 링 어셈블리 (118) 는 샤워헤드 전극 (110) 및 기판 지지부 (104) 의 외부에 제공되어 샤워헤드 전극 (110) 과 기판 지지부 (104) 사이에 위치한 공간에 플라즈마를 한정할 수 있다. 플라즈마 한정 링 및 RF 용량 결합형 플라즈마 반응기에 사용된 제 2 접지는 공동 양도되고, 본 명세서에 참조로서 통합된, 미국 특허 제 5,534,751 호에서 찾을 수 있다.
- [0018] 기판 아킹 이벤트가 발생하고 분해 생성물과 연관된 가스종이 방출하면, 이러한 분해 생성물은, 상기 가스가 처리 가스의 동적 흐름에서 희석되고 에칭 가스에 분해 생성물의 농도가 가스 검출기의 검출 한계 아래로 떨어지기 전에 검출하는 것이 바람직할 것이다.
- [0019] 기판 아킹과 연관된 가스종은 가스 센서 (120) 에 의한 분석을 위해 휘발성의 분해 생성물을 샘플링 구조체 (122) 로 수집함으로써 검출될 수 있으며 가스 라인 (124) 을 따라 가스 센서에 전달될 수 있다. 이러한 가스종의 응결 (condensation) 을 막기 위해, 가스 라인 (124) 은 가열될 수 있다. 기판 아킹과 연관된 가스종의 더 큰 감도 (sensitivity) 를 위해, 샘플링 구조체 (122) 는 기판 지지부 (104) 상에 있는 기판 (106) 의 부근에 배치될 수 있다.
- [0020] 일 실시형태에 있어서, 샘플링 구조체 (122) 는 플라즈마 한정 링 (118) 의 외측에 놓인 튜브일 수 있다. 예시적인 샘플링 튜브 재료는 석영, 실리콘, 실리콘 나이트라이드 (silicon nitride), 또는 실리콘 카바이드 (silicon carbide) 또는 이트리아 (yttria) 와 같은 다른 플라즈마 내성 세라믹 재료를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에 있어서, 샘플링 구조체 (122) 는 샤워헤드 전극 (110) 에 직접적으로 내장될 수 있다. 기판 아킹이 검출되면, 알람 (alarm, 126) 으로부터 신호가 생성된다. 예를 들어, 알람 (126) 은 오디오 경고, 비주얼 경고, 전자적 레코드 또는 오퍼레이터로 하여금 기판 아킹을 최소화하거나 플라즈마 처리를 중絶 하도록 시정조치를 취하게 명령하는 것일 수 있다.
- [0021] 다른 실시형태에 있어서, 도 2에 도시된 것과 같이, 유도 결합형 플라즈마 (ICP) 처리 장치 (200) 는 저압 (즉, 50mTorr 이하) 에서 진공 챔버에 처리 가스를 공급하고, 그 처리 가스에 RF 에너지를 인가함으로써 기판상에 재료를 증착 (예로, 플라즈마 강화 화학 기상 증착 또는 PECVD) 하고, 플라즈마 에칭하기 위해 사용될 수 있다. 도 2는 ICP 플라즈마 처리 장치 (200) 의 실시형태의 단면도이다. ICP 플라즈마 처리 챔버의 실시 형태는 캘리포니아 프레몬트 소재의 램 리서치 코퍼레이션 (Lam Research Corporation, Fremont, California) 에 의해 제조된 TCP<sup>®</sup> 에치 (etch) 또는 증착 시스템이다. 또한, ICP 플라즈마 처리 장치는 예를 들어 공동 소유되고 본 명세서에 참조로서 통합된, 미국 특허 제 4,948,458 호에 기재되어 있다. 반응 챔버 (202) 는 반응 챔버 (202) 의 내부에서 기판 (206) 을 지지하기 위한 기판 지지부 (204) 를 포함한다. 유전체 창 (208) 은 반응 챔버 (202) 의 상부 벽을 형성한다. 처리 가스는 가스 분배 부재 (210) 를 통해 반응 챔버 (202) 의 내부에 주입된다. 가스 분배 부재의 (210) 예는 샤워헤드, 가스 주입기 또는 다른 적합한 배열을 포함한다. 가스 공급부 (212) 는 처리 가스를 가스 분배 부재 (210) 를 통하여 반응 챔버 (202) 의 내부에 공급한다.

- [0022] 처리 가스가 반응 챔버 (202) 의 내부에 주입되면, 가스는 반응 챔버 (202) 의 내부에 에너지를 공급하는 에너지 소스 (216) 에 의해 플라즈마 상태로 에너지화된다. 바람직하게, 에너지 소스 (216) 는 반응 챔버 (202) 에 RF 에너지를 유도 결합하도록 RF 임피던스 매칭 회로 (218B) 및 RF 소스 (218A) 에 의해 전원이 공급되는 외부 평면 안테나 (planar antenna) 이다. 평면 안테나에 RF 전원을 인가하여 생성된 전자기장은 기판 (206) 상부에 고-밀도 플라즈마 P (예로,  $10^{11}$ - $10^{12}$  이온/cm<sup>3</sup>) 를 형성하도록 처리 가스를 에너지화한다.
- [0023] 유전체 창 (208) 은 평면 안테나의 하부에 놓이며, 가스 분배 부재 (210) 는 유전체 창 (208) 아래에 배치된다. 고-밀도 플라즈마는 기판 (206) 의 증착 또는 에칭을 위해, 가스 분배 부재 (210) 와 기판 (206) 사이의 구역에 생성된다.
- [0024] 도 1의 실시형태와 유사하게, 기판 아킹과 연관된 가스종은 가스 센서 (220) 에 의한 분석을 위해 휘발성의 분해 생성물을 샘플링 구조체 (222) 로 수집함으로써 검출될 수 있으며 가스 라인 (224) 을 따라 가스 센서에 전달될 수 있다. 이러한 가스종의 응결을 막기 위해, 가스 라인 (224) 은 가열될 수 있다. 기판 분해 생성물의 더 큰 감도를 위해, 샘플링 구조체 (222) 는 기판 지지부 (204) 상에 있는 기판 (206) 의 부근에 배치될 수 있다. 기판 아킹이 검출되면, 알람 (226) 으로부터 신호가 생성된다. 예를 들어, 알람 (226) 은 오디오 경고, 비주얼 경고, 전자적 레코드 또는 오퍼레이터로 하여금 기판 아킹을 최소화하거나 플라즈마 처리를 종결하도록 시정조치를 취하게 명령하는 것일 수 있다.
- [0025] 바람직한 실시 형태에 있어서, 가스 센서 (120/220) 는 질량 분석기 (mass spectrometer), 바람직하게는, 잔류 가스 분석기 (RGA) 질량 분석기일 수 있다. RGA 질량 분석기는 진공 시스템에서 미량 가스 (trace gas) 농도를 측정하는데 적합하며 샘플 가스를 분석함으로써 동작한다. 샘플 가스는 이온화되며 이온은 직류 (DC) 및 RF 전위의 조합을 이용하여 사중극전기장 (quadrupolar electric field) 에 의해 질량 대 전하 비 (mass-to-charge ratio) 에 기초하여 분리된다. 이 기구는 질량 대 전하 비에 대한 이온 플럭스 (flux of ion) 를 측정하며, 그것에 의하여 샘플 가스의 상세한 화학적 분석을 제공한다. RGA는 부가적 감도 또는 더 높은 (예로, 단일 질량에서 20 Hz 이상) 스캐닝 속도를 위해 전자 멀티플라이어 (electron multiplier) 가 구비될 수 있다. 바람직한 실시 형태에 있어서, RGA는 백그라운드 처리 가스 이상을 검출할 수 있는, 포토레지스트의 분해 부산물 (by-product) 을 검출하는데 사용될 수 있다. 예를 들어, 질량 분석기로부터의 실시간 신호는 플라즈마 처리 동안 생성될 수 있다. 질량 분석기로부터의 실시간 신호는 원자질량의 풀 스펙트럼 (예로, 200 AMU 까지) 또는 단일 질량에서 집합을 포함할 수 있다.
- [0026] 상술된 바와 같이, 처리 가스의 높은 백그라운드 농도 때문에 기판 아킹 이벤트와 관련한 가스 상태의 모든 종이 즉시 검출가능한 것은 아니다. 예를 들어, 기판 아킹 이벤트와 관련한 가스 상태의 종 및 처리 가스는 실시간 RGA 질량 분석기 특성화 동안 중첩하는 피크 (즉, 동일한 AMU에 2개의 피크) 를 생성할 수도 있다. 이러한 경우에, 처리 가스와 관련한 이런 가스 상태의 종의 더 낮은 농도 때문에, 상기 가스 상태의 종과 연관된 피크는 검출할 수 없을 수도 있다.
- [0027] 따라서, 기판 아킹과 연관된 선택 가스종은 처리 가스의 존재 하에서 즉시 검출되어야만 한다. 기판 아킹과 연관된 선택 가스종은 (i) 아킹 이벤트의 부재시의 처리 가스의 베이스라인 (또는 기준) 분석기 신호를 (ii) 기판 아킹 이벤트 동안의 분석기 신호에 비교함으로써 식별될 수 있다. 2개의 상이한 분석기 신호를 비교함에 있어서, 기판 아킹과 연관된 선택 가스종은 즉시 식별될 수 있다.
- [0028] 대안의 실시 형태에 있어서, 가스 센서는 유도 결합형 플라즈마 광학 방출 (ICP-OE) 분석기, 적외선 흡수 분석기 (infrared absorption spectrometers), 또는 푸리에 변환 적외선 (Fourier transform infrared, FTIR) 분석기를 포함할 수 있다. 그러나 상이한 가스를 검출하는 능력은 원자 및 분자 구조에 강하게 의존적이기 때문에, ICP-OE 및 FTIR 기술은 특정한 애플리케이션에 있어서는 덜 만족스러울 수 있다.
- [0029] 실시예 1
- [0030] 플라즈마 처리 동안 아킹 이벤트를 시뮬레이션하기 위해, 실리콘 쿠폰 (대략 3cm x 3cm) 은 193 nm 유기 포토레지스트 코팅으로 코팅되었으며 그 후 Ar 플라즈마에서 플라즈마 처리되는 동안 열적으로 분해되었다. 이러한 테스트는 불활성 가스 플라즈마에서 유기 포토레지스트의 열적 분해 부산물이 RGA 질량 분석 기술을 사용하여 검출가능하다는 것을 증명했다. 테스트는 램 리서치 코퍼레이션 (캘리포니아 프레몬트 소재) 에 의해 제조된, 2300® EXELAN® FLEX-3XTM 유전체 에칭 시스템에서 수행되었으며 가스종은 스탠퍼드 리서치 시스템 (캘리포니아 써니베일 소재) 에서 제조된, RGA200 잔류 가스 분석기에 의해 모니터링 되었다.
- [0031] 열적 분해 테스트는 실리콘 테스트 쿠폰 (대략 3cm x 3cm) 상에 193nm 유기 포토레지스트를 코팅하고 이 테스트



쿠폰을 Ar 플라즈마에서 플라즈마 처리함으로써 수행된다. 각 테스트 쿠폰은 베어 실리콘 웨이퍼 상에 위치된다. 200 SCCM Ar의 가스 혼합물은 챔버 압력 80 mTorr인 에치 챔버에 주입된다. 듀얼-주파수 RF 전원은 하부 전극에, 대략 2 MHz 주파수에 대략 1500 W로 및 대략 60 MHz 주파수에 대략 800 W로 인가된다. 하부 전극의 온도는 대략 60°C로 설정되며 상부 전극의 온도는 대략 120°C로 설정된다. 플라즈마 처리 동안, 실리콘 웨이퍼의 온도는 대략 60°C에 세팅된 하부 전극의 온도보다 대략 20°C에서 대략 30°C 더 높다. 실리콘 웨이퍼 상에 탑재된 테스트 쿠폰의 온도는 쿠폰과 실리콘 웨이퍼 사이의 열적 커플링의 범위 (extent)에 의존하며, 잠재적으로 훨씬 높다. 이러한 경우 열악한 열적 접촉에 의해, 테스트 쿠폰은 실리콘 웨이퍼의 온도보다 훨씬 높은 온도를 달성하도록 기대된다. 총 처리 시간은 대략 120초이다. 플라즈마 처리 동안 처리 챔버를 통해 흐르는 가스의 성분은 RGA 질량 분석기로 모니터링된다. 플라즈마 노출 및 가열의 조합은 유기 포토레지스트의 열적 분해를 발생한다. 도 2a는 Ar 플라즈마에서 유기 포토레지스트의 분해에 대한 (원자 질량 단위 또는 AMU인) 원자질량의 함수로서 (임의의 단위인) 강도에 대한 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호이다.

[0032] 유기 포토레지스트 분해와 연관된 분자 질량 피크를 식별하도록, 분해 없이 포토레지스트 코팅된 실리콘 및 실리콘에 대한 RGA 질량 분석기로부터 실시간 신호를 측정했다. 전술된 테스트 조건은 (i) Ar 플라즈마에서 쿠폰 없는 베어 실리콘 웨이퍼 및 (ii) Ar 플라즈마에서 열적 페이스트로 베어 실리콘 웨이퍼에 부착된 포토레지스트-코팅된 실리콘 쿠폰에 대해 반복되었다.

[0033] 열적 분해를 방지하기 위해, 열적 페이스트는 플라즈마 처리로 인한 포토레지스트 코팅으로 부터의 열 제거를 촉진하도록 테스트 쿠폰의 후면에 도포 되었다. 이는 열적 페이스트가 없는 경우와 비교하여, 테스트 쿠폰에 훨씬 낮은 온도를 발생시킨다. 열적 페이스트를 갖는 포토레지스트 코팅된 실리콘 쿠폰 및 베어 실리콘 쿠폰에 대한 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호는 도 2b 및 도 2c에 각각 도시된다. 도 2a 내지 도 2c의 실시간 신호는 플라즈마 처리의 최초 몇 초 동안 측정되었다.

[0034] 도 2a 내지 도 2c를 비교하는데 있어서, 원자질량 86에서의 피크는 유기 포토레지스트의 열적 분해와 연관되었다고 결정되었으며 이는 또한 지속된 플라즈마 처리에 의해 시간의 함수로서 점진적 붕괴를 나타내었다. 따라서 이 테스트는 포토레지스트의 열적 분해가 질량 86에서 여분의 피크를 발생시킨다는 것을 증명하였다.

[0035] 그러나 질량 86에서의 피크가 포토레지스트 분해에 대한 잠재적인 지표로서 식별되었다 하더라도, 플로린계 에칭 가스의 사용은 포토레지스트 분해와 연관된 질량 86에서의 피크를 잠재적으로 숨기게 될 수도 있다. 전술된 테스트는 베어 실리콘 쿠폰을 처리하기 위한 Ar 대신 CF<sub>4</sub> 가스를 사용하여 반복되었다. CF<sub>4</sub> 플라즈마에서 베어 실리콘에 대한 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호는 도 3에 도시된다. 도 3에의 실시간 신호로부터, CF<sub>4</sub> 플라즈마는 유기 포토레지스트의 부재에서, 질량 (85) 및 질량 (86)에서 2개의 강한 피크가 특징인 것으로 결정되었다. 따라서 유기 포토레지스트 분해를 나타내기 위한 질량 86 피크의 검출은 처리 가스가 플루오로카본계 (예로, CF<sub>4</sub>) 라면 완벽하게 만족스러운 것보다는 덜할 수 있다.

[0036] 실시예 2

[0037] 테스트의 다음 세트에 있어서, 유기 포토레지스트 분해 생성물은 아킹 이벤트 동안 RGA 질량 분석기에 의해 검출된다. 전술한 바와 같이, 테스트는 플라즈마 처리 동안 가스 농도의 실시간 분석을 위해 RGA200 잔류 가스 분석기와 커플링된 2300® EXELAN® FLEX-3X™ 유전체 에칭 시스템에서 수행되었다.

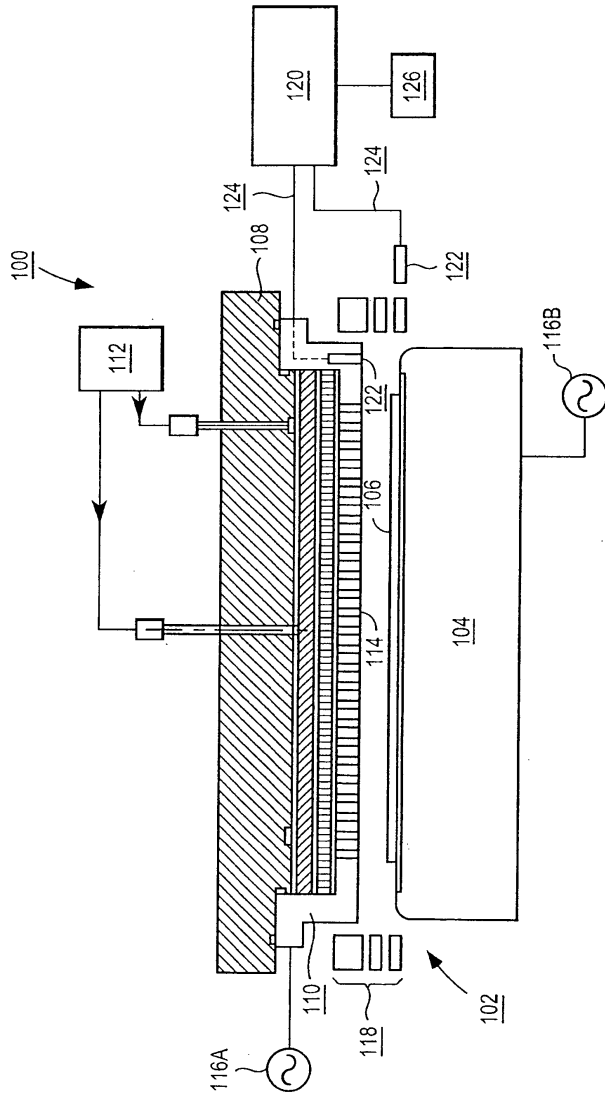
[0038] 실리콘 쿠폰은 193 nm 유기 포토레지스트로 코팅되었으며 Ar 플라즈마에서 플라즈마 처리되었다. 플라즈마 처리 동안, 처리 챔버를 통해 흐르는 가스의 구성은 RGA 질량 분석기에 의해 모니터링된다. 아킹을 유도하기 위해, 포토레지스트로 코팅된 웨이퍼는 실리콘 쿠폰에 금속 와이어를 접합함으로써 부분적으로 접지된 베어 실리콘 쿠폰 (대략 3cm x 3cm)에 부착된다.

[0039] 575 SCCM으로 흐르는 아르곤은 80 mTorr의 챔버 압력으로 에치 챔버에 주입되었다. RF 전원은 대략 27 MHz의 주파수에서 대략 1000 W의 전원으로 하부 전극에 인가되었다. 하부 전극의 온도는 대략 20°C로 설정되며 상부 전극의 온도는 대략 80°C로 설정된다. 플라즈마 처리 동안, 처리 챔버를 통해 흐르는 가스의 성분은 RGA 질량 분석기에 의해 모니터링 되었다. 실리콘 웨이퍼는 대략 60초간 플라즈마 처리에 노출되었으며, 아킹 이벤트는 대략 처리 25초 후에 검출되었다. 테스트가 완료된 후, 아킹 이벤트는 실리콘 쿠폰 및 샤워헤드 전극의 비주얼 검사에 의해 확인되었다. 실리콘 쿠폰 및 샤워헤드 전극 모두 아킹에 의해 야기된 손상의 특성이었던 변색 (discoloration)을 나타내었다.

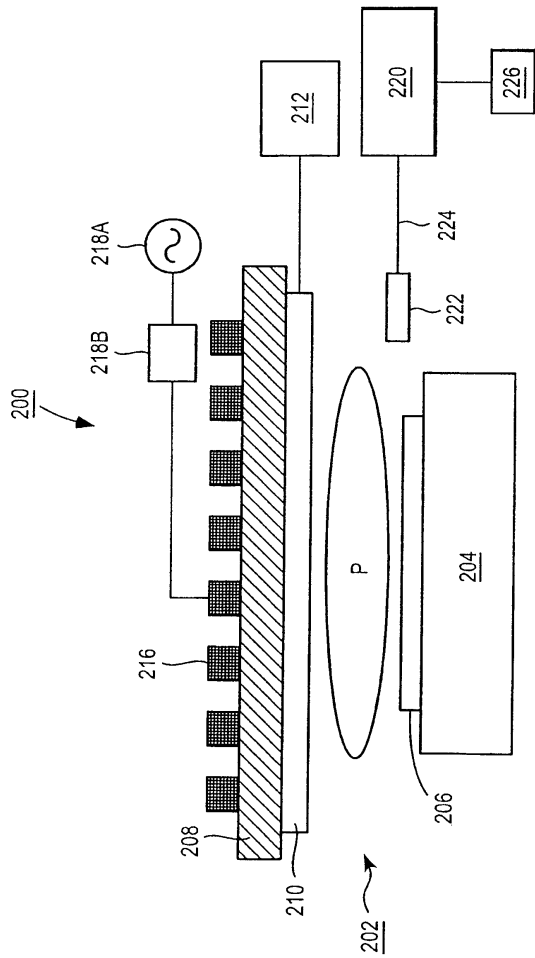
- [0040] 도 4a는 Ar 플라즈마에서 유기 포토레지스트의 분해에 대한 (원자 질량 단위 또는 AMU인) 원자질량의 함수로써 (임의의 단위인) 강도에 대한 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호이다. 도 4a에서 관심 영역 (즉, 질량 12.1, 질량 15, 질량 25.3, 질량 26.3, 및 질량 85.6) 은 어두운 화살표에 의해 나타내진다. 도 4b는 질량 12.1, 질량 15, 질량 25.3, 질량 26.3, 및 질량 85.6에 대한 플라즈마 처리 시간의 함수로써 RGA 질량 분석기로부터의 강도의 실시간 신호이다. 도 4b에 도시된 것과 같이, 5개의 원자 질량은 대략 20초에서 강도의 급격한 증가를 경험하였다. 대략 25 내지 30초에서, 5개의 원자 질량은 최대 강도에 도달하였다. 대략 35초에서, 5개의 원자 질량의 강도는 그들의 본래의 레벨로 떨어졌다. 따라서, 이 테스트는 아킹 이벤트와 연관된 포토레지스트의 열적 분해가 질량 12.1, 질량 15, 질량 25.3, 질량 26.3, 및 질량 85.6에서의 여분의 피크를 발생한다는 것을 나타내었다.
- [0041] 전술한 것과 같이, 플로린계 에칭 가스의 사용은 아킹 이벤트와 연관된 포토레지스트 분해의 발생을 나타내는 질량 피크를 잠재적으로 감출 수도 있다.  $CF_4/N_2$  에칭 가스 혼합물의 가스 농도의 실시간 분석은 150 SCCM  $CF_4/50 N_2$ 를 80 mTorr의 압력으로 에칭 챔버에 흐르게 함으로써 수행되었다. 플라즈마는 생성되지 않았다.  $CF_4/N_2$  가스 혼합물에 대한 RGA 질량 분석기로부터의 실시간 신호는 도 5에 도시된다. 도 5에서, 질량 분석기로부터의  $CF_4/N_2$  실시간 신호는 아킹으로 인한 강도의 임의의 증가를 잠재적으로 감추며, 질량 12.1 및 25.3에서 강한 피크가 특징이다. 도 4a 및 도 5의 실시간 신호를 비교하는데 있어서, 질량 15 및 질량 26.3에서의 여분의 피크를 발생시키는 아킹 이벤트는  $CF_4$  에칭 가스에서 즉시 검출가능하다는 것으로 결정되었다.
- [0042] 바람직한 실시형태는 단지 예시적이며 어떠한 방식으로든 제한적으로 고려되어서는 안 된다. 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다 첨부된 청구항에 의해 주어지며 청구항의 범위 내에 포함되는 모든 변형 및 균등물은 명세서에서 포함되도록 의도되었다.

도면

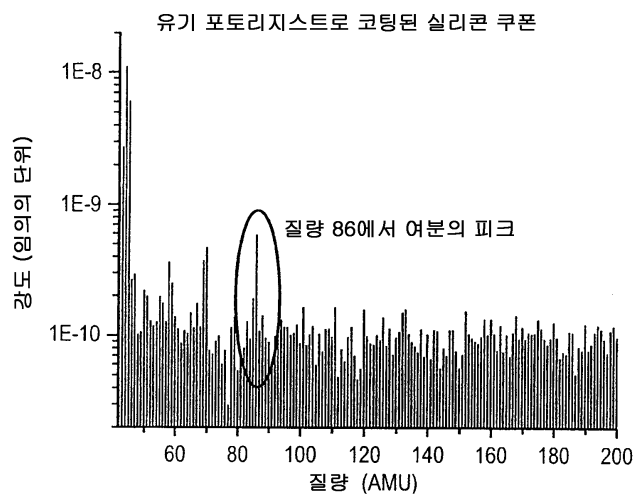
도면1a



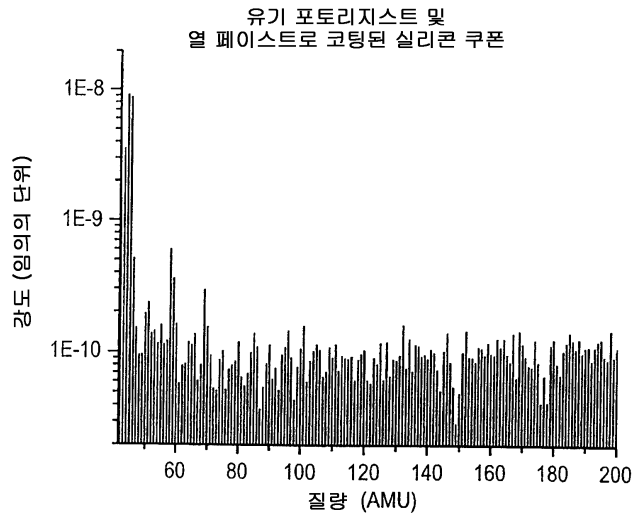
도면1b



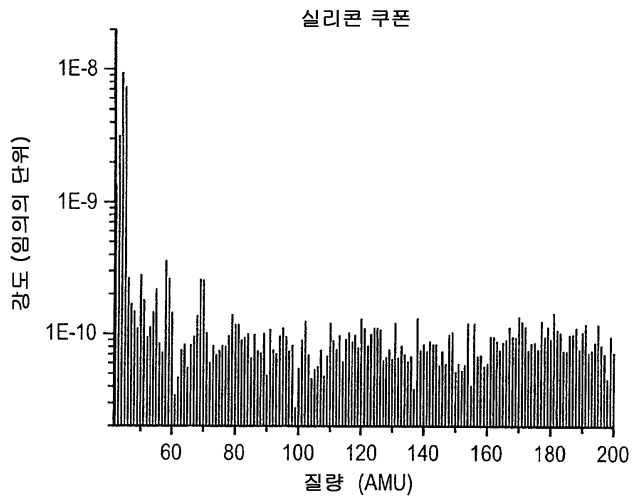
도면2a



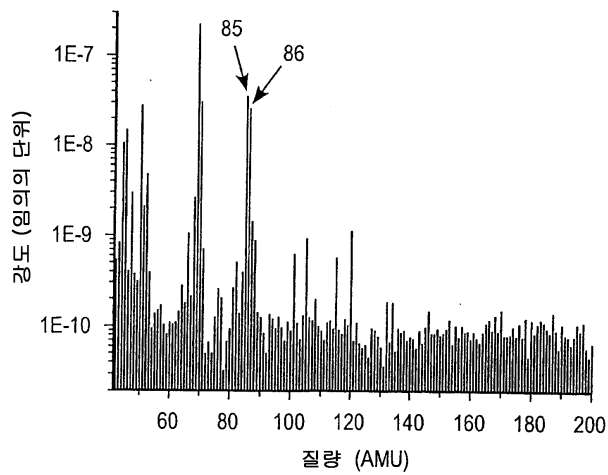
도면2b



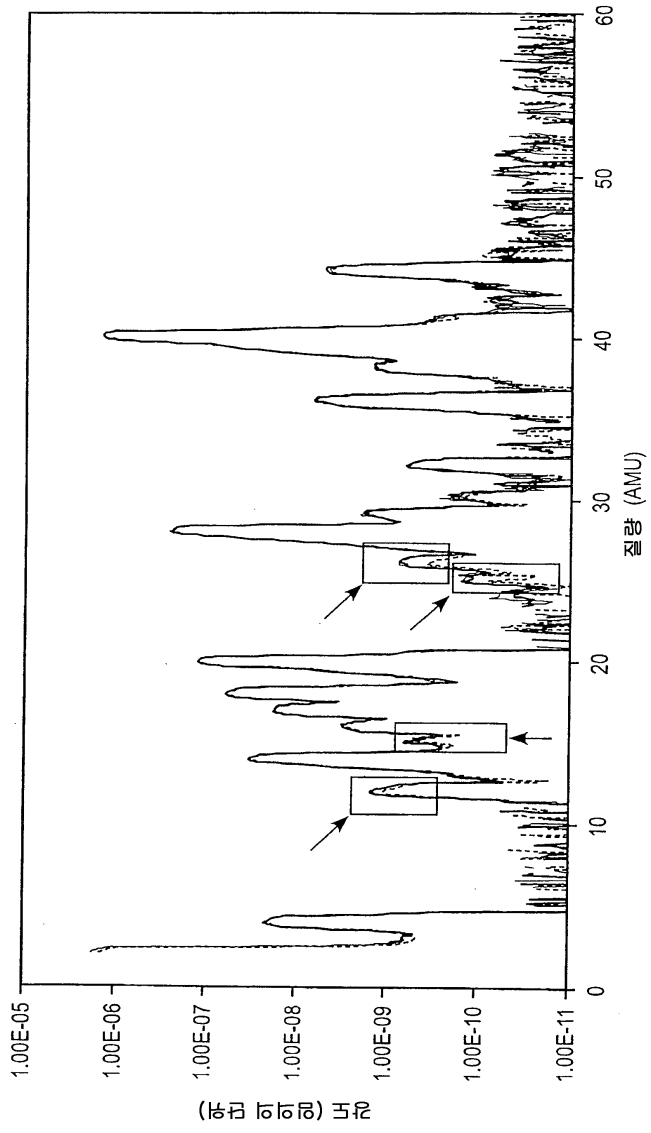
도면2c



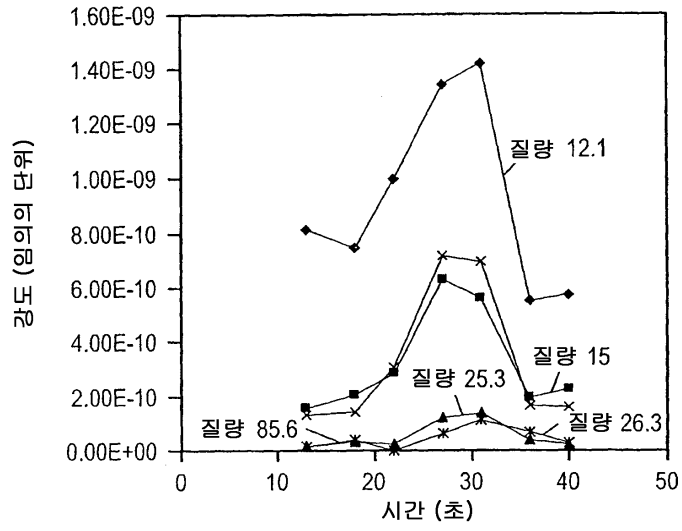
도면3



도면4a



도면4b



도면5

