



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0065321  
(43) 공개일자 2010년06월16일

(51) Int. Cl.

G01N 21/25 (2006.01) G01N 27/62 (2006.01)

H01J 49/26 (2006.01) H01L 21/66 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-7005150

(22) 출원일자(국제출원일자) 2008년08월01일

심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2010년03월08일

(86) 국제출원번호 PCT/US2008/072008

(87) 국제공개번호 WO 2009/020881

국제공개일자 2009년02월12일

(30) 우선권주장

60/963,974 2007년08월07일 미국(US)

61/020,457 2008년01월11일 미국(US)

(71) 출원인

피포탈 시스템즈 코포레이션

미국 캘리포니아 플리산톤 슈트 300 샤벗 드라이브 4683 (우: 94588)

(72) 발명자

몬코우스키, 조셉, 알.

미국 94506 캘리포니아 덴빌 로렌스 로드 1580

레인, 바르톤

미국 94566 캘리포니아 플레산톤 리즐링 드라이브 1033

(74) 대리인

남상선

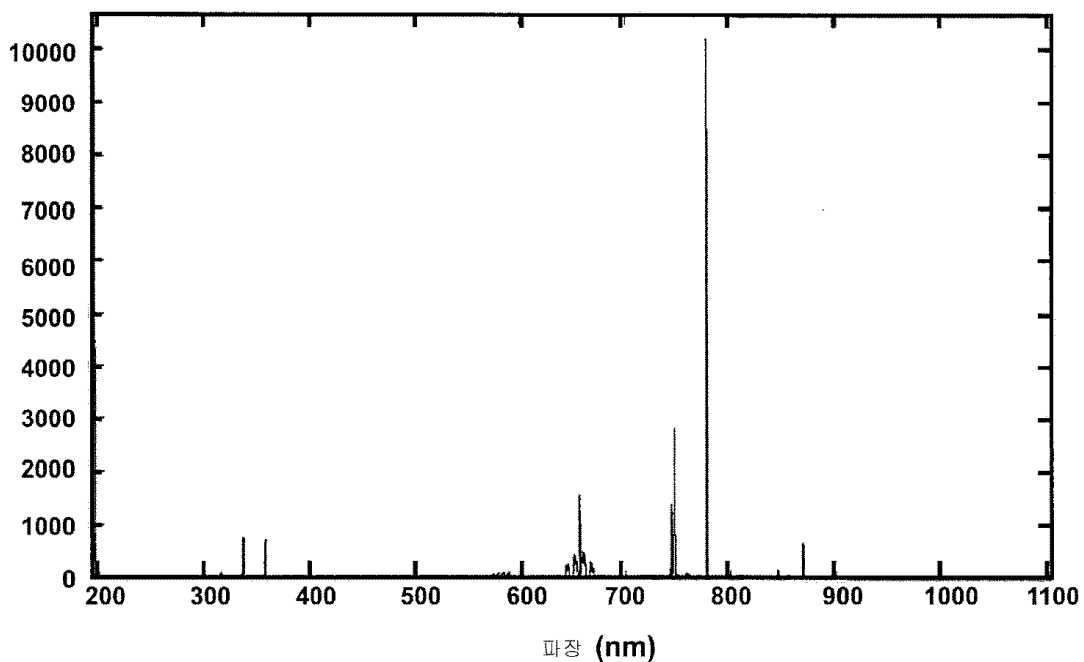
전체 청구항 수 : 총 50 항

(54) 가스의 화학적 조성을 확인하는 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명의 구체예는 하나 또는 그 초과的气体, 예를 들어 플라즈마 에칭 또는 플라즈마 향상된 화학적 기상 증착(PECVD)과 같은 반도체 제작 공정으로부터 샘플링된 가스 혼합물의 성분 분석에 관한 것이다. 특정 구체예는 샘플의 플라즈마에 충분한 전력을 공급하여 대부분의 분자 및 분자 단편을 개개의 분자로 분리시킨다. 충분한 전력(전형적으로는 3 내지 40W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도)을 플라즈마 내로 전달하면 방출 피크의 대부분이 개개 원자의 방출로부터 얻어지고, 이에 의해 조사 중인 가스의 화학적 조성의 확인을 간편화하는데 도움이 되는 스펙트럼이 생성된다. 가스 성분을 이렇게 정확하게 확인함으로써, 실시할 공정 단계를 정확하게 측정할 수 있고, 특히 공정 종료점을 검출할 수 있다.

대표도



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

대기압 아래(sub-atmospheric)의 압력에서 작동하는 공정 챔버로부터 분자 형태의 가스를 샘플링하는 단계;  
가스에 전력을 인가하여, 가스의 플라즈마로부터의 광 방출의 상당 부분이 개개의 원자로부터 얻어지게 하는 단계; 및  
광 방출로부터 가스 원자의 상대 농도를 측정하는 단계를 포함하는 방법.

### 청구항 2

제 1항에 있어서, 인가된 전력이, 원자로부터의 방출 세기가 분자 형태 가스로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 하는 방법.

### 청구항 3

제 1항에 있어서, 인가된 전력이, 747nm에서 공기 중의 질소 원자로부터의 방출 세기가 747nm에서 질소 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 하는 방법.

### 청구항 4

제 1항에 있어서, 인가된 전력이, 248nm에서 탄소 원자로부터의 방출 세기가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화학물질로 에칭되는 플라즈마 에칭 공정에 대해, 520nm에서 CO 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 하는 방법.

### 청구항 5

제 1항에 있어서, 인가된 전력이, 251nm에서 실리콘 원자로부터의 방출 세기가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화학물질로 에칭되는 플라즈마 에칭 공정에 대해, 440nm에서 SiF 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 하는 방법.

### 청구항 6

제 1항에 있어서, 인가된 전력이, 686nm에서 F 원자로부터의 방출 세기가 불화탄소/산소 화학물질의 경우에 520nm에서 CO 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 하는 방법.

### 청구항 7

제 1항에 있어서, 플라즈마가  $3\text{W}/\text{cm}^2$  또는 그 초과 전력 밀도에 노출되는 방법.

### 청구항 8

제 1항에 있어서, 플라즈마가  $5\text{W}/\text{cm}^2$  또는 그 초과 전력 밀도에 노출되는 방법.

### 청구항 9

제 1항에 있어서, 플라즈마가  $10\text{W}/\text{cm}^2$  또는 그 초과 전력 밀도에 노출되는 방법.

### 청구항 10

제 1항에 있어서, 플라즈마가  $20\text{W}/\text{cm}^2$  또는 그 초과 전력 밀도에 노출되는 방법.

### 청구항 11

제 1항에 있어서, 플라즈마가 약 3 내지  $40\text{W}/\text{cm}^2$ 의 전력 밀도에 노출되는 방법.

### 청구항 12

제 1항에 있어서, 전력이 연속적으로 인가되는 방법.

### 청구항 13

제 1항에 있어서, 전력이 펄스로 인가되는 방법.

### 청구항 14

제 13항에 있어서, 펄스 지속시간이 약 0.5 내지 50밀리초인 방법.

### 청구항 15

제 13항에 있어서, 펄스가 초당 약 1회 내지 초당 20회의 빈도로 발생하는 방법.

### 청구항 16

제 1항에 있어서, 가스가 반도체 공정 챔버로부터 샘플링되는 방법.

### 청구항 17

제 16항에 있어서, 가스 원자의 상대 농도를 기초로 반도체 공정 챔버에서 실시되는 공정의 종료점을 측정하는 것을 추가로 포함하는 방법.

### 청구항 18

대기압 아래의 압력에서 작동하는 공정 챔버로부터 분자 형태의 가스를 샘플링하는 단계;

가스를 약  $3\text{W}/\text{cm}^2$  초과 RF 전력 밀도에 노출시켜 플라즈마를 형성시키는 단계;

플라즈마로부터 광 방출을 측정하는 단계; 및

광 방출로부터 가스 원자의 상대 농도를 측정하는 단계를 포함하는 방법.

### 청구항 19

제 18항에 있어서, 가스가 반도체 제작 공정이 수행되는 공정 챔버로부터 샘플링되는 방법.

### 청구항 20

제 18항에 있어서, 가스 원자의 상대 농도를 기초로 반도체 제작 공정의 종료점을 측정하는 것을 추가로 포함하는 방법.

### 청구항 21

제 18항에 있어서, RF 전력 밀도가 펄스로서 인가되는 방법.

### 청구항 22

제 21항에 있어서, 펄스의 지속시간이 약 0.5 내지 50밀리초인 방법.

### 청구항 23

제 21항에 있어서, 펄스가 초당 약 1회 내지 초당 20회의 빈도로 발생하는 방법.

### 청구항 24

대기압 아래의 압력에서 작동되는 공정 챔버로부터 분자 형태의 가스를 수용하도록 구성된 챔버;

가스로부터 플라즈마를 생성시키기에 충분한 RF 전력을 인가하도록 구성된 전력 발생기로서, 플라즈마가 약  $3\text{W}/\text{cm}^2$  초과 전력 밀도에 노출되는 전력 발생기; 및

챔버와 광학적으로 소통되며 플라즈마로부터 광 방출을 측정하도록 구성된 분광계를 포함하는 장치.

### 청구항 25

제 24항에 있어서, 분광계와 전자적으로 소통되며, 광 방출을 챔버 내 가스의 상대 농도와 상호관련시키도록

(correlate) 구성된 프로세서를 추가로 포함하는 장치.

#### 청구항 26

제 25항에 있어서, 프로세서가 플라즈마 내 원자의 상대 농도를 기초로 공정 종료점을 측정하도록 구성되는 장치.

#### 청구항 27

제 24항에 있어서, 전력 발생기와 전자적으로 소통되는 펄스 발생기를 추가로 포함하는 장치.

#### 청구항 28

대기압 아래의 압력에서 수행되는 공정으로부터 샘플링된 분자 형태의 가스를 수용하도록 구성된 챔버; 라디오 주파수 전력을 챔버 내 샘플링된 가스에 인가시키도록 구성된 전력 발생기; 및 챔버와 광학적으로 소통되며 가스의 플라즈마로부터의 광 방출을 측정하도록 구성된 분광계를 포함하는 장치로서,

샘플링된 가스가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화합물질로 에칭되는 플라즈마 에칭 공정으로부터 얻어지는 경우에, 686nm에서 F 원자로부터의 방출 세기가 520nm에서 CO 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이며,

샘플링된 가스가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화합물질로 에칭되는 플라즈마 에칭 공정으로부터 얻어지는 경우에, 251nm에서 실리콘 원자로부터의 방출 세기가 4400nm에서 SiF 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이며,

샘플링된 가스가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화합물질로 에칭되는 플라즈마 에칭 공정으로부터 얻어지는 경우에, 248nm에서 탄소 원자로부터의 방출 세기가 520nm에서 CO 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이며,

샘플링된 가스가 공기인 경우에, 747nm에서 질소 원자로부터의 방출 세기가 747nm에서 질소 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상인 장치.

#### 청구항 29

제 28항에 있어서, 전력 발생기가 100W 이상의 라디오 주파수 전력을 인가하도록 구성되는 장치.

#### 청구항 30

제 28항에 있어서, 전력 발생기가 200W 이상의 라디오 주파수 전력을 인가하도록 구성되는 장치.

#### 청구항 31

제 28항에 있어서, 전력 발생기가, 초당 약 1회 내지 초당 20회의 빈도에서 약 0.5 내지 50밀리초의 지속시간을 갖는 펄스로서 라디오 주파수 전력을 인가하도록 구성되는 장치.

#### 청구항 32

제 28항에 있어서, 챔버에 대한 개별 냉각 메커니즘을 필요로 하지 않는 장치.

#### 청구항 33

대기압 아래의 압력에서 수행되는 공정으로부터 샘플링된 분자 형태의 가스를 수용하도록 구성된 챔버; 라디오 주파수 전력을 챔버 내 플라즈마에 인가하도록 구성된 전력 발생기; 및 챔버와 광학적으로 소통되며 플라즈마로부터 광 방출을 측정하도록 구성된 분광계를 포함하는 장치로서, 전력 발생기가 100W 이상의 라디오 주파수 전력을 인가하도록 구성되는 장치.

#### 청구항 34

제 33항에 있어서, 전력 발생기가, 초당 약 1회 내지 초당 20회의 빈도에서 약 0.5 내지 50밀리초의 지속시간을 갖는 펄스로서 라디오 주파수 전력을 인가하도록 구성되는 장치.

#### 청구항 35

제 33항에 있어서, 챔버에 대한 개별 냉각 메커니즘을 필요로 하지 않는 장치.

### 청구항 36

대기압 아래의 압력에서 수행되는 공정으로부터 샘플링된 분자 형태의 가스를 수용하도록 구성된 챔버; 라디오 주파수 전력을 챔버 내 플라즈마에 인가시키도록 구성된 전력 발생기; 및 챔버와 광학적으로 소통되며 플라즈마로부터 광 방출을 측정하도록 구성된 분광계를 포함하는 장치로서, 전력 발생기가 200W 이상의 라디오 주파수 전력을 인가하도록 구성되는 장치.

### 청구항 37

제 36항에 있어서, 전력 발생기가, 초당 약 1회 내지 초당 20회의 빈도에서 약 0.5 내지 50밀리초의 지속시간을 갖는 펄스로서 라디오 주파수 전력을 인가하도록 구성되는 장치.

### 청구항 38

제 36항에 있어서, 챔버에 대한 개별 냉각 메커니즘을 필요로 하지 않는 장치.

### 청구항 39

대기압 아래의 압력에서 실리콘 함유 유전체 막을 에칭시키는 단계;

에칭으로부터의 반응 생성물을 함유하는 플라즈마로부터 광 방출을 검출하는 단계; 및

실리콘 원자와 관련된 광 방출의 파장 세기에서의 변화를 모니터링함으로써 에칭의 종료점을 측정하는 단계를 포함하는 방법.

### 청구항 40

제 39항에 있어서, 플라즈마가 에칭을 수행하는데 사용되는 방법.

### 청구항 41

제 39항에 있어서, 플라즈마가 에칭으로부터 샘플링된 가스로부터, 공정 챔버로부터 먼 곳에서 생성되는 방법.

### 청구항 42

제 41항에 있어서, 약 20W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도가 샘플링된 가스에 인가되어 플라즈마가 생성되는 방법.

### 청구항 43

제 39항에 있어서, 파장이 243.589nm, 250.766nm, 251.508nm, 251.6870nm, 251.9960nm, 252.4867nm, 252.9269nm, 288.2424nm, 390.6629nm, 729.1181nm, 740.7814nm 또는 742.5542nm인 방법.

### 청구항 44

제 39항에 있어서, 파장 세기에서의 변화가 세기에서의 감소를 포함하는 방법.

### 청구항 45

제 39항에 있어서, 파장 세기에서의 변화가 0.1% 또는 그 초과인 방법.

### 청구항 46

제 39항에 있어서, 종료점이, 실리콘 원자와 관련된 복수개 파장의 세기 변화를 기초로 측정되는 방법.

### 청구항 47

제 39항에 있어서, 유전체 막이 산소를 또한 함유하는 방법.

### 청구항 48

제 47항에 있어서, 종료점이 산소 원자의 광 방출 세기에서의 변화를 검출함에 의해서도 측정되는 방법.

### 청구항 49

공정 챔버의 광 방출 검출기 및 컴퓨터 판독가능한 저장 매체와 전자적으로 소통되는 호스트 컴퓨터를 포함하는 장치로서,

컴퓨터 판독가능한 저장 매체가,

호스트 컴퓨터가, 대기압 아래의 압력에서 작동하는 공정 챔버로부터 분자 형태의 가스를 샘플링하고,

가스의 플라즈마로부터의 광 방출의 상당 부분이 개개의 원자로부터 얻어지도록 충분한 전력을 가스에 인가하고,

광 방출로부터, 가스 원자의 상대 농도를 측정하게끔 지시하도록, 구성된 코드를 그 위에 저장하고 있는 장치.

## 청구항 50

제 49항에 있어서, 컴퓨터 판독가능한 저장 매체가, 호스트 컴퓨터가 광 방출로부터 측정된 실리콘 원자의 상대 농도를 기초로 에칭 공정의 종료점을 확인하게끔 지시하도록 구성된 코드를 그 위에 저장하고 있는 장치.

## 명세서

### 배경 기술

- [0001] 집적 회로 또는 "IC"는 단일 실리콘 칩 상에서 제작된 소수의 상호연결된 장치에서부터 다수의 장치로 발전되어 왔다. 현재의 IC는 원래 계획된 것을 훨씬 넘어서는 성능 및 복잡성을 제공한다. 복잡성 및 회로 밀도(즉, 주어진 칩 면적 상으로 패키징될 수 있는 장치의 수)에서의 개선을 이루기 위해, 장치 "기하구조"로도 공지된 최소 장치 피쳐(feature)의 크기는 각 세대의 IC를 사용하여 점점 더 작아지고 있다. 반도체 장치는 현재 직경 ¼ 마이크론 미만의 피쳐로 제작되고 있다.
- [0002] 단지 하나의 예로서, 층을 제거 또는 부분적으로 제거하여 여기에 구조를 형성시키기 위해 에칭 공정이 종종 사용된다. 에칭은 종종 에칭 공구, 예컨대 건식 에처(etcher) 또는 습식 에처로 수행된다. 습식 에처는 종종 다른 물질로부터 하나의 물질을 선택적으로 제거하기 위해 에칭용 화학물질(etchant chemicals)을 지닌 용기를 포함한다. 건식 에처는 종종 플라즈마 공급원 및 가공 챔버를 포함한다. 건식 에처는 실리콘과 같은 반도체 물질, 또는 알루미늄과 같은 금속, 또는 실리콘 옥사이드와 같은 유전체 물질을 제거하기 위해 종종 불소 함유 중 및 염소 함유 중과 같은 가스를 사용한다.
- [0003] 반도체 제작 공정 및 가공할 웨이퍼에 대한 이들 공정의 효과를 특성화하도록 실시간 계측을 사용하기 위해 많은 작업이 이루어져 왔다. 웨이퍼 표면의 자세한 조사를 가능케하는 다른 곳에서의(ex situ) 계측과는 다르게, 실시간 계측은 동일한 곳에서의 측정을 필요로 하며, 이 방법에서는 좀처럼 상기한 웨이퍼의 자세한 조사가 가능하지 않다. 결과적으로, 웨이퍼 상태에 대해 추측하기 위해서는 공정 챔버 내부의 가스 또는 공정 챔버 내로 전달되는 전력과 같은 파라미터를 측정해야 한다.
- [0004] 반도체 공정의 실시간 계측의 전형적인 목적은, 특정 박막이 플라즈마 에칭 공정에서 충분히 에칭되는 그러한 지점(종료점(end point))과 같은 특정 웨이퍼 상태의 확인; 또는 박막이 증착되거나 에칭되는 속도와 같은 중요한 공정 파라미터의 특성화를 포함한다.
- [0005] 공정 챔버 내부의 가스를 측정하는 하나의 방법은 공정 챔버 내부의 플라즈마로부터 방출된 빛을 측정하기 위해 분광계를 사용하는 것이다. 공정 챔버 내부의 가스를 측정하는 다른 방법은, 자급식(self-contained) 플라즈마로부터 방출된 빛을 측정하기 위한 분광계와 함께 자급식 플라즈마 챔버를 포함하는 시스템을 사용하는 것이다. 예를 들어, 그러한 시스템을 사용하는 경우에, 검출 장치의 자급식 플라즈마 챔버는 공정 챔버와 유체 소통되어, 공정 챔버로부터의 가스가 검출 장치의 플라즈마 챔버 내로 유동 및/또는 확산될 수 있을 것이다.
- [0006] 이러한 둘 모두의 방법에서, 가스가 자급식 플라즈마에 의해 여기되는 경우에, 원자, 분자 및 분자 단편을 포함할 수 있는 가스상 입자 부분은 더 높은 에너지 상태로 여기된, 하나 또는 그 초과와 이들 전자를 지닐 것이다. 이러한 전자가 이들의 더 낮은 에너지 상태로 다시 떨어지는 경우에, 전자에 의해 상실된 에너지와 동일한 에너지를 갖는 양성자가 가스상 입자로부터 방출된다. 각각의 양성자의 에너지는, 이것이 방출된 입자(원자, 분자 또는 분자 단편)의 특징이다.
- [0007] 양성자 에너지가, 이것이 방출된 가스상 입자의 특징이며 양성자 에너지와 파장(또는 파장에 역으로 비례하는 주파수) 사이에서 일-대-일 관계가 존재하기 때문에, 파장의 함수로서 방출된 빛의 세기를 측정함으로써 플라즈

마 내에 존재하는 가스상 입자에 대한 정보를 제공할 수 있고, 이에 따라 가스의 화학적 조성에 대한 정보가 제공된다.

- [0008] 예를 들어, 도 1은 공기를 포함하는 플라즈마를 지닌 챔버로부터 얻은 통상적인 방출 스펙트럼을 도시한다. 도 1의 y축은 가스 혼합물 내에서 방출되는 입자의 농도가 증가함에 따라 일반적으로 증가하는 방출 세기(임의 단위의)를 나타낸다. 도 1의 x축은 나노미터로 측정된, 방출 파장을 나타낸다.
- [0009] 도 1의 스펙트럼은 분자 형태의 질소 가스의 특징이며, 이것은 공기가 대략 80%의 그러한 질소 분자를 포함함을 가정하는 경우에 예측되는 것이다. 그러나, 질소 분자의 존재를 나타내는 것과는 별개로, 도 1의 방출 스펙트럼은 상대적으로 거의 어떠한 정보도 제공하지 않는다.
- [0010] 구체적으로, 질소에 추가하여, 공기는 또한 대략 20%의 산소를 함유한다. 그러나, 도 1의 스펙트럼은 산소의 존재에 대해 어떠한 의미있는 지표도 나타내지 않는다.
- [0011] 이는, 가스 혼합물이 전형적으로 많은 상이한 분자 및/또는 원자를 함유할 것이기 때문이다. 분자 형태의 가스는 일반적으로 전자 전이에 상응하는 밴드들로 구성되는 스펙트럼을 생성하며, 이는 진동 상태 간의 전이에 상응하는 하위 밴드들로 구성되며, 이러한 하위 밴드들은 자체적으로 다양한 회전 상태 간의 전이에 상응하는 다수의 개별 라인을 포함한다. 분광계의 제한된 해상도는 이러한 많은 라인을 모두 연속되는 밴드로 흐려지게 한다. 질소 분자에 대한 스펙트럼이 대부분의 분자 또는 분자 단편보다 더 많은 밴드를 나타낸다 하지만, 분자 형태의 대부분의 가스의 전형적인 스펙트럼은 여전히 대체로 많은 밴드들로 이루어지며, 상기 밴드들은 일반적으로 하나의 가스 성분으로부터 다른 것으로 오버랩된다. 이 점은, 가스 혼합물에서 분자 형태의 가스가 우세한 경우에 통상적인 분광 기술을 사용하여 가스 혼합물의 순수한 화학적 조성을 확인하는 것을 어렵게 만든다. 대조적으로, 원자의 방출 스펙트럼은 분리된 라인들로 구성되는 경향이 있으며, 이러한 분리된 라인의 대부분은 통상적인 분광계로 분석될 수 있는 파장에서 충분히 분리되었다.
- [0012] 통상적인 분광 기술을 사용하는 경우의 여전히 다른 어려움은 스펙트럼의 피크를 특정 분자 또는 분자 단편에 관련시키는 것에서의 어려움에 있다. 예를 들어, 원자로부터 방출 스펙트럼을 문서화하는 것은 매우 복잡하고 포괄적이다. 각각의 특정 파장에서의 상대적인 방출 세기와 함께 특정 원자가 방출하는 특정 파장에 대한 정보의 우수한 공급처는 홈페이지 주소 <http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines form.html>의 미국 국립 표준 기술 연구소(NIST)로부터 입수가 가능하다.
- [0013] 이와는 다르게, 분자 또는 분자 단편으로부터의 방출 스펙트럼은 훨씬 덜 잘 문서화되어 있다. 따라서, 특정 분자 또는 분자 단편의 방출이 하나의 스펙트럼 내에서 다른 것들로부터 분리될 수 있다 하더라도, 이 정보를 가스 혼합물의 알려진 성분에 대해 상호관련시키는 것은 많은 경우에서 가능하지 않을 것이다. 이 문제는 불안정한 분자 및 분자 단편이 형성된 다음에 매우 단기간에 분해되는, 플라즈마의 매우 활동적인 상태에서 악화된다.
- [0014] 이전의 작업은 크로마토그래피와 같은 분석 기술을 위한 원자 방출 검출기 상에서 실시되어 왔다. 빈번하게, 상기 검출기는, 종종 다량의 아르곤 또는 다른 캐리어 가스를 혼합물에 첨가하면서 액체를 기화시키고 분석하는데 사용된다. 이러한 방법에 의해 원자 방출이 검출될 수 있다고는 하지만, 이들은 대기압에서 작동하도록 설계되며, 반도체 장치의 가공에 사용되는 것들과 같은 공정 챔버의 내부에 있는 가스 환경의 분석을 위해서는 적합하지 않다.
- [0015] 다른 관련된 분석 기술은 유도 결합된 플라즈마-광 방출 분광법(ICP-OES)이다. 이 기술은 수 냉각된 RF 코일과 함께 동심상으로 배열된 석영관을 포함하는 ICP 토치를 사용한다. 아르곤 캐리어 가스와 함께, ICP 토치는 분석할 물질을 원자화시켜서 여기시키는 고온 플라즈마(대략 7,000K)를 생성시킨다. ICP-OES는 미량 금속을 분석하기 위해 빈번히 사용된다. 그러나 토치와 유사한 구성, 아르곤 캐리어 가스의 높은 유량 및 대기압에서의 작동으로 인해, 이러한 기술 또한 반도체 장치의 제작 동안에 야기되는 환경의 분석에 대해서 적합하지 못하다.
- [0016] 통상적인 분광 기술을 사용하는 경우의 종국적인 어려움은 관찰할 신호의 강도에 있다. 구체적으로, 장치 크기가 축소됨에 따라, 조사할 공정에 의해 변화되는 물질의 면적은 전체 면적에 대해 매우 작은 부분만을 나타낼 수 있다. 예를 들어, 플라즈마를 사용하여 하나의 바이어(via)를 에칭시키는 전형적인 단계에서, 제거할 유전체 층의 면적은 전체 면적의 단지 약 1% 또는 그 미만이다. 광 방출 분광계(OES)와 같은 통상적인 측정 기술 또는 라디오 주파수(RF) 측정은 전체 플라즈마 상태를 측정하기 때문에, 다른 간섭으로부터의 효과가 측정 신호를 압도할 수 있다.
- [0017] 실리콘 함유 유전체 막(예컨대, 실리콘 니트라이드, 실리콘 디옥사이드, 도핑된 실리콘 디옥사이드, 및 낮은-k



막)은 일반적으로 반도체 장치에 존재한다. 이러한 실리콘 함유 유전체 막은 우선 블랭킷 층으로서 증착된 다음, 포토리소그래피에 의해 노출된 선택된 영역에서 제거된다. 유전체 층의 제거는 에칭에 의해 수행되며, 이는 유전체 아래에 있는 물질이 손상되지 않도록 높은 정확도로 실시되어야 한다. 정확한 에칭에 대한 관건은 공정 종료점, 즉 실리콘 디옥사이드가 더 이상 제거되지 않는 시점을 정확하게 측정하는 것이다.

[0018] 그러나 전형적으로, 에칭시킬 유전체 막의 노출된 면적은 매우 작을 것이며(예를 들어, 전체 면적의 몇 퍼센트 또는 그 미만), 이는 그러한 에칭의 종료점과 관련된 임의의 신호를 매우 작게 만들 것이다. (i) 작은 신호, (ii) 서로 겹쳐지는 다수 밴드에 의한 신호의 흐려짐, 및 (iii) 임의의 특정 방출과 관련된 가스 종을 확인하는데 있어서의 어려움이 복합적으로 작용하여, 에칭 공정의 종료점 검출이 통상적으로 매우 어려워진다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0019] 상기 정황으로부터, 가스 혼합물을 분석하고 공정 종료점을 측정하기 위한 개선된 기술, 시스템 및 방법이 요망됨이 확인된다.

### 과제의 해결 수단

[0020] 본 발명의 구체예들은 하나 또는 그 초과 가스, 예를 들어 플라즈마 에칭 또는 플라즈마 향상된 화학적 기상 증착(PECVD)과 같은 반도체 제작 공정으로부터 샘플링된 가스 혼합물의 성분 분석에 관한 것이다. 본 발명에 따른 구체예들은 대부분의 분자 및 분자 단편을 개개의 원자로 분리시키기 위해, 샘플의 플라즈마에 충분한 전력을 제공한다. 충분한 전력(전형적으로는 3 내지 40W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도)을 플라즈마 내로 전달시키면, 방출 피크의 대부분이 개개 원자의 방출로부터 얻어지며, 이에 의해 조사 중인 가스의 화학적 조성의 확인을 간편화하는데 도움되는 스펙트럼이 생성된다. 상기한 가스 성분의 정확한 확인은 실시할 공정 단계의 정확한 측정, 및 특히 공정 종료점의 검출을 가능케 할 수 있다.

[0021] 본 발명의 일부 구체예는 실리콘 원자의 광 방출 특성 세기에서의 변화를 기초로, 실리콘 함유 유전체 층을 에칭하는 공정의 종료점을 검출한다. 특정 구체예에 따르면, 광 방출은 목적하는 에칭 공정을 실시하는데 사용되는 플라즈마로부터 직접적으로 얻어진다. 다른 구체예에서, 광 방출은 에칭 공정으로부터 샘플링된 가스로부터 얻어진다. 이러한 구체예에서, 충분한 전력 밀도가 샘플링된 가스로 전달되어 대부분의 분자 및 분자 단편을 개개의 원자로 분리시킨다. 이에 의해, 실리콘 원자의 방출 피크 특성의 세기에서의 변화가 용이하게 검출될 수 있는 스펙트럼이 생성된다. 일반적으로, 실리콘 원자의 방출 세기에서의 감소는 실리콘 함유 유전체의 에칭 공정의 종료점에 대한 지표이다.

### 도면의 간단한 설명

[0022] 본 발명에 따른 구체예의 다양한 추가적인 과제, 특징 및 이점은 상세한 설명, 및 하기 개요의 첨부되는 도면을 참조로 더욱 충분히 이해될 수 있다:

도 1은 공기의 통상적인 방출 스펙트럼을 도시한다.

도 2는 본 발명에 따른 검출 장치의 일 구체예를 이용하는 플라즈마 가공 시스템의 일 구체예에 대한 간편화된 개략도를 도시한다.

도 3은 도 2에 도시된 검출 장치의 구체예의 상세도이다.

도 4는 도 3의 검출 장치와 함께 사용하기 위한 정합 회로(match circuit)의 일 구체예에 대한 다이어그램을 도시한다.

도 5는 고전력이 플라즈마 내로 전달되는, 본 발명의 일 구체예에 의해 생성된 공기의 방출 스펙트럼이다.

도 6은 더 적은 전력이 플라즈마 내로 전달되는, 본 발명의 일 구체예에 의해 생성된 공기의 방출 스펙트럼이다.

도 7은 본 발명의 일 구체예에 의해 생성된 플라즈마 챔버 세정 공정의 방출 스펙트럼이다.

도 8은 플라즈마 챔버 세정 공정의 통상적인 방출 스펙트럼이다.



도 9는 본 발명의 일 구체예에 의해 생성된 플라즈마 에칭 공정의 방출 스펙트럼이다.

도 10은 플라즈마 에칭 공정의 통상적인 방출 스펙트럼이다.

도 11은 실리콘 원자의 방출 특성인 파장, 및 상대적인 세기의 상세 흐름도를 도시한다.

도 12는 본 발명의 구체예에 따라 사용하기 위한 컴퓨터 시스템의 개략도이다.

도 12a는 도 12의 컴퓨터 시스템의 기본적인 하위시스템에 대한 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 발명의 특정 구체예는 진공 조건 하에서 가스 또는 가스 혼합물의 조성 분석에 관한 것이다. 특정 구체예에 따르면, 반도체 장치를 제작하기 위한 기술이 제공된다. 더욱 구체적으로는, 본 발명의 구체예는, 플라즈마가 측정할 가스를 포함하는 원자 및/또는 분자를 여기시킴에 따라 플라즈마 챔버로부터 방출된 빛의 파장 및 세기를 측정하기 위해 자급식 플라즈마 챔버와 함께 분광계를 사용할 수 있다.
- [0024] 본 발명의 구체예는 진보된 집적 회로, 예컨대 동적 랜덤 액세스 메모리 장치, 정적 랜덤 액세스 메모리 장치(SRAM), 용도 특이적인 집적 회로 장치(ASIC), 마이크로프로세서 및 마이크로컨트롤러, 플래시 메모리 장치, 평판 디스플레이, MEMS 등의 제작에 적용될 수 있다.
- [0025] 본 발명의 구체예는 조사 중인 가스의 화학적 조성을 확인하는데 도움이 되는 스펙트럼을 생성하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 이러한 스펙트럼은, 대부분의 분자 및 분자 단편을 개개의 원자로 분리시키기 위해 충분한 전력을 플라즈마 내에 제공함으로써 생성될 수 있다. 이 방법은 플라즈마 내로 전달된 전력 이 플라즈마로부터의 방출 세기를 측정하는 것보다 더 많다는 인식에 기초하고 있다. 특히, 플라즈마에 적용된 전력 밀도가 충분히 높은 수준에 도달하면, 플라즈마 방출 스펙트럼의 특성이 달라진다. 본 발명의 구체예에 따라 충분한 전력 이 플라즈마 내로 전달되면, 방출 피크의 대부분은 분자 또는 분자 단편의 방출로부터 얻어지기보다는 오히려 개개 원자의 방출로부터 얻어질 것이다.
- [0026] 도 2는 실리콘 웨이퍼를 가공하기 위한 본 발명에 따른 장치의 일 구체예에 대한 개략도이다. 장치(200)는 기관(206)을 지지하도록 구성된 척(chuck)(204)을 둘러싸는 벽(202)을 구비한 공정 챔버(201)를 포함한다. 챔버(201)는 가스 공급원(210)으로부터 가스를 수용하기 위한 입구(208)를 포함한다. 챔버(201)는 또한 진공 펌프(212)와 함께 출구(211)를 포함한다.
- [0027] 기관(206)이 척(204) 위로 로딩되면, 진공 펌프(212)가 작동개시되고 챔버(201)가 배기된다. 가스 공급원(210)으로부터의 가스는 챔버 내로 유동하고, RF 전위는 그 내부에서 플라즈마(215)를 생성시키기 위해 RF 공급원(214)에서부터 챔버로 적용된다. 척(204)에 바이어스(bias)를 적용하면 플라즈마 내에서 반응성 종이 생성될 수 있는데, 이 종은 기관으로 유입되어 그 위에 존재하는 물질과 충돌하여 이를 에칭시킨다.
- [0028] 도 2의 챔버에서 일어나는 에칭 공정의 상태는 플라즈마 챔버 내 가스의 조성을 모니터링함으로써 확인될 수 있다. 특히, 플라즈마로부터의 방출은 이의 구성성분을 지시할 수 있다. 따라서, 도 2는 또한 본 발명의 일 구체예에 따른 플라즈마 모니터 장치(300)를 도시한다. 도 3은 플라즈마 모니터 장치(300)의 확대도를 도시한다.
- [0029] 본 발명에 따른 도 3의 장치의 일 구체예에 대한 기본 성분은 인클로저(301), 플라즈마 챔버(302)(여기서, 샘플링된 가스를 포함하는 분자, 분자 단편 및 원자에 플라즈마가 가해져서 충분한 다수-원자 입자가 분리되어 개개의 원자로부터 상당한 방출이 생성된다); 챔버를 가스 공급원인, 충분한 전력을 플라즈마 내로 제공하는 RF(라디오 주파수) 발생기(304)로 연결시키는 플랜지(303); 및 플라즈마 방출로부터 스펙트럼을 생성하는 분광계(308)를 포함한다.
- [0030] 도 3의 장치는 또한 RF 발생기(304)를 펄스시키기 위한 펄스 발생기(306)를 포함한다. 특히, 본 발명의 특정 구체예는 고전력화된 플라즈마 챔버를 간헐하게 하고 예를 들어 수 냉각을 요하지 않고 통상적으로 사용할 수 있게 하는 방법 및 장치에 관한 것이다. 특히, 가스의 화학적 조성의 모니터링이 단지 특정 간격(예컨대 초 당 몇 차례)에서 실시될 수 있기 때문에, 전력이 펄스화된 방식으로 적용되어 단지 짧은 기간 동안에 고에너지 플라즈마를 발생시킬 수 있다. 플라즈마가 점화되는 시간의 비율(%)이 작기 때문에, 플라즈마 챔버에 적용된 평균 전력은 낮게 유지될 수 있고, 플라즈마 챔버 내로 전달된 열도 비교적 낮게 유지된다.
- [0031] 도 3의 장치는 분광계를 작동시키기 위해 컴퓨터 또는 프로세서(310)를 추가로 포함한다. 특히, 컴퓨터 또는

프로세서는 방출 세기를 혼합물 내 가스의 상대 농도와 상호관련시키도록 구성된다. 컴퓨터/프로세서가 가스 또는 가스 혼합물 중의 원자의 상대 농도를 기초로 가스 샘플로부터 공정 단계(예컨대 종료점)를 측정하도록 구성될 수 있다. 특히, 컴퓨터(310)는, 컴퓨터가 공정 제어 및 가스 조성의 검출과 관련된 다양한 작업을 수행하게끔 지시하도록 구성된 코드를 그 위에 저장하고 있는 컴퓨터 판독가능한 저장 매체와 전자적으로 소통될 수 있다. 하기 도 12 내지 12a는 본 발명에 따른 구체예를 수행하기에 적합한 컴퓨터 시스템에 관한 추가적인 상세사항을 제공한다.

[0032] 챔버(302)는, 불소 및 다른 할로젠, 금속 이온 및 산소 이온과 같은 반응성 원소를 포함하는 고밀도 플라즈마를 신뢰도 있게 견딜 수 있으면서 동시에 모니터링할 공정을 조금이라도 유해하게 오염시키지 않는 물질로 구성된다. 일 구체예에 따르면, 플라즈마에 노출된 물질은 고순도  $Al_2O_3$  튜브(302), 스테인레스 스틸 엔드피스(endpiece)(307a, 307b), 및 플라즈마로부터의 방출이 분광계(308)에 의해 검출될 수 있는, 엔드피스(307b) 내의 고순도  $Al_2O_3$  (사파이어) 윈도우(316)를 포함한다.

[0033] 챔버 내 플라즈마는 다수의 상이한 전극 구성을 이용하여 생성될 수 있지만, 가장 간단하고 가장 효과적인 것 중 하나는  $Al_2O_3$  튜브(302) 주위의 유도성 권선(318)이다. 그러한 하나의 구체예에서, 이 권선을 포함하는 와이어는 고전력 플라즈마에 요구되는 다량의 전류를 운반하기에 충분한 게이지로 되어 있어야 한다. 예를 들어, 도 3의 특정 구체예에서, 권선은 12 어메리칸 와이어 게이지(American Wire Gauge: AWG) 자석 와이어로 제조된다.

[0034] 도 3의 구체예는 또한 정합 네트워크(320)의 존재를 나타낸다. 많은 유형의 정합 네트워크가 사용될 수 있지만, 하나의 가능한 정합 네트워크(320)가 도 4의 회로(400)에 표시되어 있다. 정합 네트워크의 부품 선택에서 주요하게 고려되어야 하는 것은, 상기 부품이 RF 발생기(304)에 의해 전달된 고전력과 관련된 전압 및 전력을 견딜 수 있는지를 확인하는 것이다. 도 4의 구체예에 사용된 특정 커패시터는 뉴욕 헌팅톤 스테이션에 소재한 어메리칸 테크니컬 세라믹스(American Technical Ceramics)로부터 얻어진, 5000V 이상의 전압 등급을 갖는 다층 세라믹 커패시터였다.

[0035] 다수의 상이한 유형의 RF 발생기가 본 발명의 구체예에 따라 사용될 수 있었다. 그러한 적합한 RF 발생기의 공급업체의 예에는 콜로라도 포트 콜린스에 소재한 어드밴스드 에너지 인더스트리즈, 인크.(Advanced Energy Industries, Inc.), 메사추세츠 윌밍톤에 소재한 엠케이에스 인스트루먼트, 인크.(MKS Instruments, Inc.) 등이 포함된다. 도 3의 특정 구체예에 사용된 RF 발생기는, 펄스화된 작동 모드가 가능한, 뉴저지 빈랜드에 소재한 세렌 아이피에스, 인크.(Seren IPS, Inc.)로부터 입수가 가능한 세렌 R601였다.

[0036] 마찬가지로, 다수의 상이한 분광계 중 어느 하나가 본 발명에 따라 구체예를 실시하는데 사용될 수 있었다. 도 3의 특정 구체예에서, 플로리다 둔딘에 소재한 오션 옵틱스, 인크.(Ocean Optics, Inc.)로부터 입수가 가능한 HR4000 분광계가 사용되었다.

[0037] 도 3의 구체예의 조준 렌즈(322)가 플라즈마 챔버의 X축 근방의, 단지 플라즈마의 잘 규정된 부분으로부터의 방출이 측정됨을 확인하는데 사용된다. 전형적으로, 측정되는 플라즈마 부분은 전체 플라즈마의 단지 몇 퍼센트만을 나타낸다.

[0038] 펄스 회전(pulse circuit)이 임의의 수의 상이한 방식으로 실시될 수 있다. 가장 간단하고 가장 간결한 방법 중 하나는, 하나 또는 그 초과로 단안정한(monostable) 멀티바이브레이터(multivibrator)를 포함하는 작은 세트의 집적 회로를 사용한다. 현재의 구체예에서는, 74LS123 이종의 단안정한 멀티바이브레이터가 사용된다.

[0039] 특정 구체예에서, 발생기의 펄싱을 분광계의 집적 주기와 동기화시키는(synchronizing), 분광계 및 발생기와 소통되는 마이크로컨트롤러를 사용하면 펄싱이 또한 수행될 수 있다. 마이크로컨트롤러를 사용하면 프로그래밍의 유연성, 용이한 업그레이드 능력, 및 이러한 작업들을 원거리에서 수행하는 능력이 얻어질 수 있다.

[0040] 도 5는 도 2 내지 4에 도시된 본 발명의 구체예를 사용하여 얻어진 공기로부터의 플라즈마 방출 스펙트럼을 도시한다. 도 5의 스펙트럼은 RF 에너지를 500W의 전력에서 챔버에 인가하여 얻었다. 플라즈마의 부피를 고려하면, 이것은 약 20W/cm<sup>3</sup>의 전력 밀도에 상응한다.

[0041] 비교를 위해, 도 1에 도시된 통상적인 방출 스펙트럼은, 4W의 RF 에너지를, 길이 1.8cm 및 직경 1.5cm를 가짐으로써 약 3.2cm<sup>3</sup>의 부피를 갖는 플라즈마를 함유하는 원통형 챔버에 인가함으로써 얻었다. 이것은 단지 약 1.3W/cm<sup>3</sup>의 전력 밀도에 상응한다.

- [0042] 본 발명의 구체예에 따르면, 높은 RF 전력을 플라스마에 인가시키면 분자 및 분자 단편이 개개의 원자로 분리되게 되어, 훨씬 더 간단한 스펙트럼이 생성된다. 예를 들어, 도 5의 피크는, 이들이 수적으로 거의 없고 원자 방출 스펙트럼의 특성화 방식에서 가파르고 좁기 때문에, 전체 스펙트럼의 단지 일부분만을 차지한다. 분자로부터의 도 5의 스펙트럼에 대한 기여는 거의 확인될 수 없고, 여기서 분자 방출의 유일한 표시는 중간(mid)-600nm 범위, 및 더욱 작은 중간-700nm 범위에서의 다수의 매우 작은 피크, 및 중간-300nm 범위에서의 커플 피크가 존재하는 것이다.
- [0043] 도 5의 방출 스펙트럼은 도 1의 통상적인 스펙트럼보다 훨씬 더 많은 정보를 전달한다. 특히, 742nm, 744nm, 747nm 및 868nm에서의 가파른 피크는 질소 원자로부터의 방출을 나타낸다. 777nm 및 845nm에서의 피크는 산소 원자로부터의 방출을 나타낸다. 656nm에서의 피크는 공기 중의 소량의 수분으로부터 추정되는(likely) 수소 원자이다.
- [0044] 도 6은 더 낮은 전력 수준에서 작동된, 본 발명에 따른 검출 장치의 일 구체예로부터 얻어지는 플라스마 함유 공기의 스펙트럼을 도시한다. 특히, 이 경우에 RF 발생기에 의해 플라스마로 전달된 전력은 180W였고, 이것은 약  $7.2\text{W}/\text{cm}^2$ 의 전력 밀도에 상응한다. 도 6의 스펙트럼에서, 질소 분자, 및 질소 원자 및 산소 원자로부터의 방출이 확인될 수 있다.
- [0045] 747nm에서의 질소 원자 및 777nm에서의 산소 원자에 대한 피크가 도 6에 도시되어 있다. 이러한 피크 아래에는 질소 분자에 의해 형성된 구역이 존재하며, 이것은 약 700nm에서 약 800nm로 연장되는 다수의 광대한 피크를 갖는다. 이 부분의 스펙트럼을 도 1의 상응하는 부분(더 낮은 전력 예에 대한 것)과 비교하면, 질소 원자 및 산소 원자에 대한 고립된 좁은 피크의 존재를 제외하고는 스펙트럼이 매우 유사해 보임을 알 수 있다. 따라서, 도 6의 스펙트럼은, 747nm 및 777nm에서 좁은 피크를 갖는 분자 방출(여기서 스펙트럼의 형태는 도 1의 스펙트럼의 형태와 매우 유사하다)과 원자 방출이 중첩되는 것으로 간주될 수 있다.
- [0046] 요컨대, 분자 및 분자 단편으로부터의 방출과 비교되는, 원자로부터의 방출에 대한 3가지 일반적인 유형의 스펙트럼이 확인될 수 있다. 예를 들어, 도 1에 도시된 저전력 스펙트럼은, 주로 분자 및 분자 단편으로부터 방출이 이루어지고 원자로부터는 어떠한 뚜렷한 신호도 확인될 수 없는 저전력 영역에서 생성된다. 예를 들어 도 5에 도시된 고전력 스펙트럼은 주로 원자로부터 방출이 이루어지는 고전력 영역에서 생성된다. 예를 들어 도 6에 도시된 중간-전력 스펙트럼은, 분자 및 분자 단편으로부터의 방출이 여전히 존재하지만 원자로부터의 방출이 월등한 전이 영역에서 생성된다.
- [0047] 몇몇의 적용에 있어서, 도 6에 도시된 원자 방출의 신호 강도를 갖는 방출 스펙트럼이 충분할 수 있었다. 다른 경우에, 원자 방출은 예를 들어 도 5에 도시된 분자 방출보다 훨씬 더 커야 할 수 있다. 시스템의 특정 요건에 따라 다르나, 최적 전력 수준이 선택될 수 있다.
- [0048] 본 발명에 따른 구체예는, 플라스마로부터의 광 방출의 상당 부분이 개개의 원자로부터 얻어지도록 충분한 RF 전력을 플라스마에 인가할 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 일 구체예에 따르면, 플라스마에 제공된 전력은, 747nm에서 공기 중의 질소 원자로부터의 방출 세기가 747nm에서 질소 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 할 수 있다.
- [0049] 관심있는 파장(예를 들어, 747nm)에서 분자 및 원자 선의 상대적인 기여의 정량적 추산은, 관심있는 파장을 둘러싸는 하나의 밴드에서 분자 밴드의 강도를 조사함으로써 얻을 수 있다. 예를 들어, 도 1 및 6의 747nm 영역에 관하여, 도 6의 스펙트럼이, 도 1의 분석으로부터 얻을 수 있는 형태를 갖는 분자 스펙트럼과, 원자 질소 방출에 상응하는 747nm에서의 추가적인 좁은 피크의 중첩임을 확인할 수 있다. 분자 밴드의 형태를 핏팅시키는 것은, 중심, 폭 및 높이를 도 1의 저전력 스펙트럼에 핏팅시킴으로써 측정된 가우시안 피크(Gaussian peaks) 수집물의 중첩을 포함할 수 있었다. 이는 도 6에 도시된 스펙트럼에서 747nm의 이웃에 있는 분자 밴드에 대한 최적 핏을 얻기 위해 총괄 상수에 의해 확대(scaled)될 것이다. 이것은 747nm에서의 분자 기여에 대한 추정을 제공할 것이며, 여기서 확인된 세기의 나머지는 원자 방출에 기인한 것이다. 유사 방법이, 분자 및 원자 방출의 개별 기여를 정량적으로 추산하기 위해 스펙트럼의 다른 어느 곳에서 사용될 수 있었다.
- [0050] 다른 구체예에 따르면, 플라스마에 제공된 전력은, 248nm에서 탄소 원자로부터의 방출 세기가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화학물질로 에칭되는 플라스마 에칭 공정에 대해, 520nm에서 분자 CO로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 할 수 있다. 더욱 다른 구체예에 따르면, 플라스마에 제공된 전력은, 251nm에서 실리콘 원자로부터의 방출 세기가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화학물질로 에칭되는 플라스마 에칭 공정에 대해, 440nm에서 SiF 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 하는 할 수 있다. 더욱 더 다른 구체예에 따르면,

플라즈마에 제공된 전력은, 686nm에서 F 원자로부터의 방출 세기가, 불화탄소/산소 화학물질의 경우에 520nm에서 CO 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 하는 할 수 있다.

- [0051] 본 발명의 구체예에는 플라즈마의 특정 성분예에 따라 다르지만, 약 3 내지 40W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도를 얻기에 충분한 RF 전력을 인가할 수 있다. 특정 구체예에 따라 다르지만, 본 발명에 따른 장치의 예는 약 3W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 약 5W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 약 10W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 약 15W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 약 20W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 약 25W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 약 30W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 약 35W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도, 또는 약 40W/cm<sup>2</sup> 초과 전력 밀도를 달성하도록 RF 전력을 인가시키기 위해 구성될 수 있다.
- [0052] 특정 가스는 플라즈마가 존재하느냐 그렇지 않느냐와는 무관하게 원자 형태로 존재한다. 아르곤 및 네온과 같은 불활성 가스는 이러한 방식으로 작용한다. 그러나, 실제적인 견지에서 본 발명에 따른 구체예에 의해 실시되도록 요망된 대다수의 측정, 플라즈마의 부재 또는 저전력화된 플라즈마에서는 원자 형태로 존재하지 않을 것인 가스 함유 혼합물에 대해서 이루어질 것이다.
- [0053] 본 발명에 따른 구체예에 대한 하나의 응용예는, 일반적으로 플라즈마 챔버로부터 오염물을 제거하는데 사용되는 플라즈마 세정 공정을 모니터링하는 것이다. 특히, 건식 세정의 목적은 반도체 장치 제작에 사용된 실리콘 웨이퍼의 에칭 동안에 일어나는 플라즈마 에칭 생성물의 축적을 방지하기 위한 것이다. 건식 세정 동안에, 산소 가스가 일반적으로 플라즈마 에칭 챔버 내로 도입되고, 플라즈마가 점화된다. 산소는 챔버 벽 상의 축적 침착물과 합쳐져서, 이후 챔버로부터 펌핑되는 휘발성 화합물을 형성한다.
- [0054] 도 7은 상기한 "건식 세정" 공정 동안의 플라즈마 에칭 챔버 내부의 가스 혼합물로부터 얻어진, 본 발명의 구체예에 의해 생성된 방출 스펙트럼을 도시한다. 도 7에서, 챔버 벽 상의 축적물의 주요 구성성분인 탄소, 불소 및 수소와 함께 산소의 존재는 명확하게 확인된다. 또한 전형적으로 대기 오염물로부터 존재하는 소량의 질소도 있다. 이러한 질소는 탄소와 결합하여, 심지어 전형적으로 본 발명에 사용된 플라즈마 전력 수준에서도 남아있는 매우 강력한 결합을 형성한다. 이러한 다양한 원자와 관련된 피크를 모니터링함으로써, 건식 세정의 성질에 대한 충분한 이해가 얻어질 수 있다. 예를 들어, 탄소 피크의 세기는 탄소 퇴적물이 챔버로부터 제거됨에 따라 건식 세정의 진행에 대한 양호한 측정수단을 제공할 수 있다.
- [0055] 도 8은 단지 약 1.3W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도에서 얻어진, 상기한 건식 세정 공정의 통상적인 방출 스펙트럼을 도시한다. 도 8은 산소가 플라즈마의 주요 부분을 포함한다는 사실에도 불구하고, 산소의 존재를 명확하게 나타내지 않는다. 또한, 탄소 원자, 불소 원자 및 수소 원자의 용이하게 확인가능한 피크 지표는 또한 이 스펙트럼으로부터 식별될 수 없다.
- [0056] 도 8의 스펙트럼은 다수의 피크 및 밴드를 함유하며, 이의 대부분은 분자 및 분자 단편의 존재에 기인한 것이다. 예를 들어, 피크의 몇몇은 CO의 지표이며; 다른 피크는 다양한 양의 탄소, 불소, 산소 및/또는 수소를 함유하는 더 큰 분자 또는 분자 단편의 지표일 수 있다. 무수한 분자 및 분자 단편을 가로질러 이들 원소를 추적하려는 시도는 매우 어려운 작업이며, 피크의 몇몇이 조금도 알려지지 않은 것일 수 있다는 사실에 의해 훨씬 더 어려워진다.
- [0057] 본 발명에 따른 구체예에 대한 다른 가능한 적용은, 플라즈마를 이용하여 반도체 기판 상의 물질을 실제로 에칭시키는 공정의 진행을 모니터링하는 것이다. 도 9는, 실리콘 웨이퍼 상의 실리콘 옥사이드 막의 에칭 동안 플라즈마 에칭 챔버의 내부 가스 혼합물로부터, 본 발명의 일 구체예에 의해 생성된 스펙트럼을 도시한다. 도 9의 에칭은 10sccm(분당 표준 입방 센티미터)의 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>, 50sccm의 CO, 5sccm의 O<sub>2</sub>, 및 200sccm의 Ar을 포함하는 불화탄소/산소 화학물질을 이용하여 수행된다. 옥사이드 막 부분은, 보호된 옥사이드가 정확히 바른 위치에 존재하여 특정 반도체 장치의 인터커넥트 설계를 형성하도록 패턴화된 포토레지스트 층에 의해 보호된다.
- [0058] 도 9는 포토레지스트로부터 뿐만 아니라 플라즈마 챔버 내로 유입되는 가스 혼합물로부터 얻어지는 탄소; 실리콘 옥사이드 뿐만 아니라 플라즈마 챔버 내로 유입되는 가스 혼합물로부터 얻어지는 산소; 및 에칭되는 실리콘 옥사이드로부터 얻어지는 실리콘과 관련된 피크를 도시한다. 이러한 피크를 모니터링하여, 플라즈마 에칭 공정의 진행에 대한 많은 양의 정보를 얻을 수 있다. 예를 들어, 실리콘 피크의 세기로부터 옥사이드 에칭 속도를 알 수 있고, 에칭 속도에서의 변화에 대한 지표가 제공되며, 에칭 공정이 종료되는 때(종료점)를 알 수 있다.
- [0059] 대조적으로, 도 10은 저전력에서 얻어진, 도 9와 동일한 가스 혼합물로부터 얻어진 통상적인 방출 스펙트럼을 도시한다. 도 10에서 주목해야 하는 것은 실리콘 또는 탄소와 관련된 임의의 피크도 전혀 존재하지 않는다는 것이다. 이러한 원소들은 다른 과정에서 방출 피크 또는 밴드를 생성하는 분자 또는 분자 단편에 함유되어 있



다. 그러나, 이러한 다른 피크로부터 상기 원소의 존재를 확인하는 것은 매우 까다로운 작업이다.

- [0060] 가스 모니터 시스템의 바람직한 특성은 플라즈마 챔버가 소형이고 휴대가능하다는 점이다. 이상적으로, 이것은 수 냉각을 요하지 않아야 한다. 본 발명의 고전력 수준이 연속적으로 전달되는 경우, 수 냉각이 가장 필요할 것이다. 그러나 대부분의 경우에서, 가스 조성의 측정은 단지 특정 간격에서, 예컨대 초당 1회, 또는 초당 아마도 다수회, 또는 몇몇의 경우에서 훨씬 덜 빈번하게 이루어져야 한다. 수백 와트의 전력 수준은 높은 방출 수준을 생성할 수 있고 대부분의 분광계가 매우 민감하므로, 본 발명에서는 수 밀리초 내에 높은 품질의 스펙트럼이 얻어질 수 있다. 결과적으로, 본 발명의 다른 요소는, 초당 단지 몇 차례 또는 그보다 더 적을 수 있는 가스 측정이 요망될 때마다 밀리초의 기간 동안 RF 발생기를 펄스, 즉 이것을 가동시키는 것이다. 이러한 상황에서, 플라즈마 챔버로 전달된 평균 전력은 전달된 최대 전력의 1% 정도이다.
- [0061] 일 구체예에서, 도 5에 도시된 방출 스펙트럼은 RF 에너지의 펄스화된 적용을 이용하여 얻어졌다. 특히, RF 에너지는 초당 5회로 발생된 2 밀리초 펄스의 형태로 적용되었다. 500W의 최대 전력 수준에서는, 5W의 평균 전력 수준이 얻어진다. 도 7에 도시된 방출 스펙트럼에 대해서, 최대 전력은 300W(이것은 12W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도에 상응함)였고, 펄스 지속시간은 3밀리초였으며, 펄스 빈도는 초당 5회였고, 이로부터 4.5W의 평균 전력 수준이 얻어졌다. 도 9의 방출 스펙트럼에 대해서 최대 전력은 300W(이것은 12W/cm<sup>2</sup>의 전력 밀도에 상응함)였고, 펄스 지속시간은 12밀리초였으며, 펄스 빈도는 초당 5회였고, 이로부터 18W의 평균 전력 수준이 얻어졌다.
- [0062] 본 발명의 구체예에 따라 RF 전력의 펄스화된 적용을 이용하면 특정 이점을 얻을 수 있다. 낮은 평균 전력 수준의 상기한 이점 중 하나는, 예를 들어 냉수 공급원 및 특수 유체 취급을 위한 연결부를 필요로 하는 냉각 수의 순환에 의한 장치의 임의 외부 냉각이 불필요하다는 것이다. 참으로, 다수의 예에서, 더욱 단순한 유형의 냉각 장치, 예컨대 팬 또는 심지어 어떠한 냉각 장치도 전혀 사용될 필요가 없다.
- [0063] 본 발명에 따른 구체예는 펄스화된 방식으로 전력을 인가할 수 있으나 반드시 그러한 것은 아니다. 다양한 구체예에서, 전력은 약 0.1밀리초 내지 50밀리초의 지속시간을 갖는 펄스로 인가될 수 있다. 특정 구체예에서, 펄스는 초당 대략 1회 내지 초당 대략 20회의 빈도로 발생될 수 있다. 몇몇의 예에서, 상기 공정은, 매초 또는 그보다 덜한 펄스가 충분할 수 있도록 느리게 변화될 수 있다. 펄스화된 에너지의 지속시간 및 빈도에 따라 다르지만, 플라즈마에서의 평균 전력은 약 0.1 내지 약 50W일 수 있다.
- [0064] 본 발명에 따른 다양한 구체예는 명확하고 식별가능하며 인지가 가능하며 일관된 종료점 지표(End Point Index: EPI) 신호에 의해 지시된 명확한 종료점 신호를 나타내는 것과 같은 특정 이점을 제공할 수 있다. 사용의 용이함은, 간단한 셋업, 전개시킬 복잡한 알고리즘이 없다는 것과 특수한 사용자 훈련을 요하지 않는다는 사실에 의해 나타날 수 있다. 본 발명에 따른 특정 구체예들에 의해 제공된 다른 잠재적인 이점에는 다양성이 포함될 수 있으며 따라서 구성 변화가 거의 없거나 전혀없는 다양한 노출된 영역, 노드 및 막 기판을 가로지르는 다수의 유전체 에칭 공정에 대해 이상적으로 적합하다. 물론 여기에도 다수의 변경, 변형 및 대안이 이루어질 수 있다.
- [0065] 본 발명의 다양한 구체예에 따른 방법에 의해 제공된 이점에는 하기 것들이 포함될 수 있다:
- [0066] 1. 개개의 원자에 대한 방출 피크가 잘 문서화되어 있다.
- [0067] 2. 개개의 원자에 대한 방출 피크는, 전형적으로 밴드로 방출되며 전형적으로 더 적은 수의 피크로 존재하는 분자 및 분자 단편에 대해서보다 전형적으로 더 좁으며, 이에 따라 상이한 원자로부터의 피크가 상당부분 중첩되는 것이 방지되고, 가스의 특정 구성성분의 확인이 훨씬 더 용이해진다.
- [0068] 3. 특정 원소를 함유할 수 있는, 알려지지 않은 수의 분자 또는 분자 단편이 존재하지 않기 때문에, 특정 원소의 특성 추적이 더욱 용이해지게 된다.
- [0069] 4. 플라즈마 공정이 모니터링되는 그러한 용도에 있어서, 주 플라즈마에 의해 형성된 특정의 분자 및/또는 분자 단편이 방출 전에 원자로 분리되기 때문에, 스펙트럼은 주 플라즈마의 임의의 변경 또는 변동에 대해 훨씬 덜 민감하다.
- [0070] 특정의 이점이 본 발명의 구체예에 따라 얻어질 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 다양한 구체예는 다수의 공정, 기술 노드(node), 노출된 영역 및 막 유형에 대해 하나의 종료점 해법을 제공한다. 본 발명에 따른 구체예는 효과적인 툴 이동(tool excursion) 및 외부(outlier) 제어를 제공함으로써 증가된 툴 처리량을 얻을 수 있다. 본 발명의 구체예는 또한 종료점 성능의 챔버 정합, 및 현재의 자재 장치의 미래의 기술 노드로의 연장을 제공할 수 있다. 본 발명의 특정 구체예는 순환하는 플라즈마에서 장치를 가공하는 방법을 제공할 수 있고, 이에

의해 더욱 효율적인 공정 및 더욱 양호하게 제어된 공정이 얻어질 수 있다. 본 발명에 따른 하나 또는 그 조합의 구체예는 다양한 용도, 예컨대 메모리, ASIC, 마이크로프로세서, 평판 디스플레이, MEMS, 및 다른 장치에 적용할 수 있다.

[0071] 이상에서 다수의 특정 구체예를 도시하고 설명하였지만, 본 발명의 구체예는 이들로 제한되지 않는다. 예를 들어, 상기 실시예는 라디오 주파수(RF)의 복사선 형태의 에너지를 챔버로 적용하는 것을 채택하고 있지만, 본 발명은 이러한 특정의 구체예로 제한되는 것은 아니다. 본 발명에 따른 대안적인 구체예는, 마이크로파로 제한되는 것은 아니지만 이것을 포함하는 다른 형태의 복사선을 챔버로 적용하는 것을 이용할 수 있다. 본원의 목적상, RF 에너지를, 주파수가 100kHz 내지 10GHz의 범위에 있는 전자기적 복사선으로 정의한다.

[0072] 또한, 본 발명은 플라즈마에 기초한 공정(에칭 또는 증착 공정)의 감지 특성에 제한되는 것이 아니다. 오히려, 반도체 제작 공정을 포함하는 임의 유형의 제작 공정으로부터의 가스상 조성물이 본 발명의 구체예에 따라 분석될 수 있다. 예를 들어, 본 발명에 따른 구체예는, 플라즈마 향상된 화학적 기상 증착(PECVD), 고밀도 플라즈마 화학적 기상 증착(HDP-CVD) 및 다른 형태의 화학적 기상 증착, 예컨대 저압 화학적 기상 증착(LP-CVD)을 포함하나 이로 제한되지 않는 증착 공정에 대한 종료점을 검출하는데 적용될 수 있다.

[0073] 본 발명은 임의의 특정 압력에 있는 가스의 조성을 검출하는 것에 제한되지 않는다. 그러나, 본 발명의 몇몇의 구체예는 대기압 아래의 압력에 있는 가스의 조성을 검출하는데 특히 적합할 수 있다. 특정 구체예에서, 가스 조성은 약 0.1밀리토르(MilliTorr) 내지 약 100토르의 압력 범위 내에서 검출될 수 있다. 특정 구체예에서, 가스 조성은 약 3 밀리토르 내지 약 10토르의 압력 범위 내에서 검출될 수 있다. 특정 구체예에서, 가스 조성은 약 3밀리토르 내지 약 500밀리토르의 압력 범위 내에서 검출될 수 있다.

[0074] 본 발명의 특정 구체예는 실리콘 원자의 광 방출 특성의 세기에서의 변화를 기초로, 실리콘 함유 유전체 층을 에칭시키는 공정의 종료점을 검출한다. 특정 구체예에 따르면, 광 방출은, 목적하는 에칭 공정을 수행하는데 사용되는 플라즈마로부터 직접 얻어진다. 다른 구체예에서, 광 방출은 에칭 공정으로부터 샘플링된 가스로부터 얻어진다. 이러한 구체예에서, 충분한 전력 밀도가 샘플링된 가스로 전달되어, 대부분의 분자 및 분자 단편을 개개의 원자로 분리시킨다. 이에 의해, 실리콘 원자의 방출 피크 특성의 세기에서의 변화가 용이하게 검출될 수 있는 스펙트럼이 얻어진다. 일반적으로, 실리콘 원자의 방출 세기에서의 감소는 실리콘 함유 유전체를 에칭시키는 공정의 종료점에 대한 지표이다.

[0075] 실리콘 함유 유전체 막의 주요 성분은 실리콘이다. 또한, 임의의 실리콘 함유 가스가, 에칭에 사용된 화학물질 부분으로 도입되는 경우는 비교적 드물다. 따라서, 에칭 환경에서 실리콘의 농도를 모니터링하면, 에칭 공정의 종료점에 도달된 때를 측정하기 위한 직접적이며 정확한 수단이 제공될 수 있다.

[0076] 본 발명의 구체예는 실리콘 원자의 광 방출 신호에서의 변화를 검출함으로써 실리콘 함유 유전체 막의 에칭에 대한 종료점을 측정한다. 하기 표 1은 실리콘 원자의 광 방출 특성 피크의 상대적 세기 및 파장의 리스트를 제공한다:

[0077] 표 1: 실리콘

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
243.589	300
250.766	425
251.508	375
251.6870	500
251.9960	350
252.4867	425
252.9269	450
288.2424	1000
390.6629	300
729.1181	400
740.7814	375
742.5542	425

[0078]

[0079] 도 11은 제 1 이온화 수준의 실리콘 원자로부터의 방출의 파장 지표에 대한 더욱 포괄적인 리스트를 나타내는 더욱 상세한 흐름도이다. 이러한 포괄적 리스트는 하기 홈페이지 주소를 갖는 미국 국립 표준 기술 연구소(NIST)로부터 온라인 상에서 얻었다:

<http://physics.nist.gov/asd3>. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland. Ralchenko, Yu., Jou, F.-C., Kelleher, D.E., Kramida, A.E., Musgrove, A., Reader, J., Wiese, W.L., and Olsen, K. (2007). NIST Atomic Spectra Database (version 3.1.3).

본 발명의 구체예에 따르면, 이러한 파장의 하나 또는 그 초과 광학적 세기에서의 변화는 공정의 종료점을 정확히 검출하기 위해 에칭 동안에 모니터될 수 있다.

[0080] 본 발명의 구체예에 따르면, 실리콘 디옥사이드 유전체 물질의 에칭 공정에서의 종료점은 상기 표시된 실리콘 원자에 대한 하나 또는 그 초과 파장의 세기에서의 변화로 표시된다. 가장 전형적으로는, 에칭 공정에서의 종료점은 실리콘 원자의 피크 지표의 세기에서의 감소로 나타날 것인데, 이는 에칭용 화학물질과 유전체의 반응으로부터의 생성물에 의해 실리콘 함유 양이 유전체 물질의 소모에 따라 감소될 것이기 때문이다. 방출 세기에서의 감소 규모는 에칭시킬 실리콘 함유 옥사이드 물질의 양(큰 표면적의 에칭은 상대적으로 많은 양의 실리콘을 생성시킬 것이고 이에 따라 강한 방출 신호가 생성될 것이다)을 포함하는 다양한 인자에 따라 달라질 것이다. 그러나, 특정 상황 하에서, 에칭 공정의 종료점은 실리콘 원자의 증가된 방출을 야기시킬 수 있다. 일반적으로, 본 발명에 따른 구체예는 0.1% 또는 그보다 큰 실리콘 원자의 피크 특성의 세기에서의 변화를 검출하도록 구성된다.

[0081] 특정 구체예에 따르면, 종료점은 실리콘에 추가하여 다른 원자 종으로부터의 방출 세기를 모니터함으로써 측정될 수 있다. 예를 들어, 실리콘 함유 유전체가 실리콘 옥사이드를 포함하는 경우에, 에칭 공정의 종료점은 실리콘 원자의 하나 또는 그 초과 방출 피크를 모니터하는 것에 더하여 산소 원자의 방출 피크의 변화된 세기를 모니터함으로써 측정될 수 있다.

[0082] 특정 구체예에서, 실리콘 함유 유전체 막을 에칭시키는데 사용되고 있는 플라즈마는 분자의 대부분을 이들의 구성 원소로 분해시키기에 충분한 전력을 갖는다. 다른 구체예에서, 에칭될 실리콘 디옥사이드는 기관의 넓은 면적을 덮을 수 있으므로, 이로부터 실리콘 원자의 강력한 신호 방출이 얻어진다. 그러한 구체예에서, 분광계는, 주 가공 플라즈마로부터 직접 실리콘 원자의 방출을 측정하기 위해 공정 챔버와 직접적으로 광학적 소통이 이루어지도록 배치될 수 있다. 충분한 전력을 갖는 가공 플라즈마를 사용할 수 있는 경우에, 기술된 구체예는 종료점 검출 장치를 상당히 간편화시킬 수 있다.

[0083] 그러나, 대부분의 플라즈마 에칭 공정에 있어서, 가공 플라즈마에 인가된 전력은 종료점을 검출할 수 있도록 실리콘 원자의 방출로부터 충분히 강한 신호를 제공하기에는 충분치 않다. 이것은, 고전력의 인가가, 제작될 취약한 구조를 손상시킬 수 있기 때문이다.

[0084] 따라서, 대안적인 구체예에서, 종료점에 대한 실리콘 원자의 지표인 변화된 광 방출은, 챔버로부터 가스를 샘플링한 다음 샘플링된 가스를 충분히 강한 RF 전력에 노출시켜 샘플로부터의 분자를 이들의 구성 원자로 분리시킴으로써 검출될 수 있다.

[0085] 일 구체예에서, 충분한 전력이 RF 발생기(예를 들어 100 내지 500W)로부터 인가되어 실리콘을 함유하는 분자의 큰 부분을 분리시킨다. 실리콘 원자의 주 공급원이 실리콘 함유 유전체 막의 에칭으로부터 얻어지고, 실리콘 원자의 측정이 이들의 화학적 반응 경로(막으로부터 에칭된 후에, 이들이  $\text{SiF}_4$  또는  $\text{SiF}_3$  등의 형태로 있는지에 따라)를 무관하게 만들기 때문에, 실리콘 원자의 세기 측정은 실리콘 옥사이드 막 에칭의 종료점을 직접적이며 정확하게 측정할 수 있게 한다.

[0086] 도 2의 장치로 돌아가서, 도 2의 챔버에서 일어나는 에칭 공정의 상태는 플라즈마 챔버 내 가스의 조성을 모니터함으로써 확인될 수 있다. 특히, 플라즈마로부터의 방출로부터 이의 구성요소가 드러난다.

[0087] 특정 조건 하에서, 도 2의 챔버 내에서 실시되는 에칭 공정의 상태는 가공 플라즈마로부터의 직접적인 방출을 기초로 모니터될 수 있다. 따라서, 도 2는, 표 1 및 도 11에 기재되고 도시된 하나 또는 그 초과 파장으로 방출 세기를 검출하도록 구성된 분광계(217)와 광학적으로 소통되는 챔버 내의 광 윈도우(213)를 도시한다.

[0088] 그러나, 더욱 일반적으로 챔버 내에 존재하는 가공 플라즈마의 에너지는 대부분의 분자 및 분자 단편을 이들의 구성 원자로 분리시키기에 충분히 높지 않다. 따라서, 도 2는 챔버(201)와 유체 소통되는, 본 발명의 일 구체예에 따른 플라즈마 모니터 장치(300)를 도시한다. 도 3은 또한 플라즈마 모니터 장치(300)의 확대도를 도시한다.



[0089] 본 발명에 따른 구체예는 플라즈마로부터의 광 방출의 상당 부분이 개개의 원자로부터 비롯되도록 플라즈마에 충분한 RF 전력을 인가할 수 있다. 예를 들어, 본 발명의 일 구체예에 따르면, 플라즈마에 제공된 전력은, 251nm에서 실리콘 원자로부터의 방출 세기가, 실리콘 옥사이드가 불화탄소/산소 화학물질로 에칭되는 플라즈마 에칭 공정에 대해, 440nm에서 SiF 분자로부터의 방출 세기의 20% 이상이 되게 할 수 있다.

[0090] 본 발명에 따른 구체예에 대한 하나의 가능한 적용은 플라즈마를 이용하여 반도체 기판 상에서 물질을 실제로 에칭시키는 공정의 진행을 모니터링하는 것이다. 도 9는 실리콘 웨이퍼 상의 실리콘 옥사이드 막의 에칭 동안 플라즈마 에칭 챔버의 내부에 있는 가스 혼합물로부터, 본 발명의 구체예에 의해 생성된 스펙트럼을 도시한다. 도 9의 에칭은 10sccm(분당 표준 입방 센티미터)의  $C_4F_8$ , 50sccm의 CO, 5sccm의  $O_2$ , 및 200sccm의 Ar을 포함하는 불화탄소/산소 화학물질을 이용하여 수행된다. 옥사이드 막 부분은, 보호된 옥사이드가 정확히 바른 위치에 존재하여 특정 반도체 장치의 인터커넥트 설계 부분을 형성하도록 패턴화된 포토레지스트 층에 의해 보호된다.

[0091] 도 9는 포토레지스트로부터 뿐만 아니라 플라즈마 챔버 내로 유입되는 가스 혼합물로부터 얻어지는 탄소; 실리콘 옥사이드 뿐만 아니라 플라즈마 챔버 내로 유입되는 가스 혼합물로부터 얻어지는 산소; 및 에칭되는 실리콘 옥사이드로부터 얻어지는 실리콘과 관련된 피크를 도시한다. 이러한 피크를 모니터링하여, 플라즈마 에칭 공정의 진행에 대한 상당량의 정보를 얻을 수 있다. 예를 들어, 실리콘 피크의 세기로부터 옥사이드 에칭의 속도를 알 수 있고, 에칭 속도에서의 변화에 대한 지표가 제공되고, 에칭 공정이 종료되는 때(종료점)가 나타날 수 있다.

[0092] 대조적으로, 도 10은 저전력에서 얻어진, 도 9와 동일한 가스 혼합물로부터 얻어진 통상적인 방출 스펙트럼을 도시한다. 도 10에서 주목해야 하는 것은, 실리콘 또는 탄소와 관련된 임의의 확인가능한 피크도 존재하지 않는다는 것이다. 이러한 원소들은 다른 과정에서 방출 피크 또는 밴드를 생성하는 분자 또는 분자 단편에 함유되어 있다. 그러나, 이러한 다른 피크로부터 상기 원소의 존재를 확인하는 것은 매우 까다로운 작업이다.

[0093] 본 발명의 구체예는 진보된 집적 회로, 예컨대 동적 랜덤 액세스 메모리 장치, 정적 랜덤 액세스 메모리 장치(SRAM), 용도 특이적 집적 회로 장치(ASIC), 마이크로프로세서 및 마이크로컨트롤러, 플래시 메모리 장치, 평판 디스플레이, MEMS 및 기타 것의 제작에 적용될 수 있다.

[0094] 본 발명에 따른 구체예는 단지 공정의 종료점을 확인하는데 제한되는 것은 아니다. 대안적인 구체예에 따르면, 에칭 속도가 측정될 수 있고, 다양한 가스의 농도가 측정될 수 있으며, 공정 챔버 내로의 누출물로부터 미량 오염물이 확인될 수 있다.

[0095] 또한, 상기 실시예는 실리콘 함량에 기초 한 종료점 검출에 대해 기술하고 있지만, 본 발명은 이러한 특정 원소를 감지하는 것에 제한되지 않는다. 대안적인 구체예는 다른 원소의 방출 특성을 검출할 수 있으며 이는 본 발명의 범위 내에 있다. 예를 들어, 하기 표 2 내지 12는 각각 탄소, 산소, 질소, 불소, 수소, 황, 요오드, 염소, 게르마늄, 하프늄, 갈륨에 대한 방출 스펙트럼의 더욱 포괄적인 리스트를 제공한다:

[0096] 표 2: 탄소

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
247.856	800
538.034	300
601.322	300
833.515	520
906.143	250
908.851	250
909.483	450
911.18	300

[0097]

940.573	800
962.08	250
965.844	300
1 069.125	300

[0098]

[0099] 표 3: 산소

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
777.194	870
777.417	810
777.539	750
844.625	810
844.636	1000
844.676	935
926.277	590
926.601	640
1 128.691	640
1 316.389	700
1 316.485	750
1 316.511	640

[0100]

[0101] 표 4: 질소

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
575.25	700
742.364	685
744.229	785
746.831	900
859.4	570
862.924	650
868.028	700
868.34	650
871.17	570
939.279	570
1 246.962	920
1 358.133	840

[0102]

[0103] 표 5: 불소

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
623.965	13000
634.851	10000
683.426	9000
685.603	50000
690.248	15000
703.747	45000
712.789	30000
720.236	15000
731.102	15000
739.869	10000
775.47	18000
780.021	15000

[0104]

[0105] 표 6: 수소

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
388.9049	6
397.0072	8
410.174	15
434.047	30
486.133	80
656.272	120
656.2852	180
954.597	5
1 004.94	7
1 093.81	12
1 281.81	20
1 875.10	40

[0106]

[0107]

[0108] 표 7: 인

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
944.186	950
930.494	1250
949.356	1250
952.573	1700
954.518	1500
956.3439	1700
973.475	1500
975.077	1500
979.685	1700
1 052.952	962
1 058.157	1235
1 648.292	1627

[0109]

[0110] 표 8: 요오드

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
511.929	10000
661.966	5000
740.206	5000
746.899	5000
804.374	99000
839.33	10000
902.24	5000
905.833	15000
911.391	12000
942.671	4000
973.173	5000
1 046.654	5000

[0111]

[0112] 표 9: 염소

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
725.662	7500
754.7072	11000
771.7581	7000
774.497	10000
821.204	18000
822.174	20000
833.331	18000
837.594	99900
842.825	15000
857.524	20000

[0113]

858.597	75000
912.115	7500

[0114]

[0115] 표 10: 게르마늄

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
201.9068	1700
204.1712	2400
204.377	1600
206.5215	750
206.8656	2600
209.4258	2000
265.1172	1200
270.9624	850
275.4588	650
303.9067	750
1 206.920	1300
1 239.158	1050

[0116]

[0117] 표 11: 하프늄

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
286.637	2100
289.826	1800
291.648	2000
294.077	2000
295.068	1200
296.468	1400
302.053	1200
307.288	2100
368.224	2200
377.764	1400
378.546	1400
382.073	1300

[0118]

[0119] 표 12: 갈륨

피크의 확인된 파장	피크의 상대적 세기
639.6561	9
725.14	10
740.3	20
746.4	30
762.05	10
773.477	50
780.001	100
800.255	15
807.425	20
838.649	7
1 194.912	10
1 210.978	9

[0120]

[0121] 상술된 바와 같이, 본 발명에 따른 구체예는 특히 컴퓨터와 함께 실시하기에 적합하다. 도 12는 본 발명의 일 구체예에 따라 정보를 프로세싱하는 컴퓨팅 장치에 대한 간략화된 다이어그램을 도시한다. 이 다이어그램은 단지 일 예를 나타낼 뿐이며, 이는 본원의 특허청구범위의 범위를 제한하지 않아야 한다. 당업자는 다수의 다른 변경, 변형 및 대안을 인지할 것이다. 본 발명에 따른 구체예는 브라우저와 같은 단일 응용 프로그램으로 실시될 수 있거나, 워크스테이션, 개인용 컴퓨터, 또는 클라이언트 서버 관계에 있는 원격 터미널과 같은 분포된 컴퓨팅 환경에서 다수의 프로그램으로서 실시될 수 있다.

[0122] 도 12는 디스플레이 장치(1220), 디스플레이 스크린(1230), 캐비넷(1240), 키보드(1250) 및 마우스(1270)를 포함하는 컴퓨터 시스템(1210)을 도시한다. 마우스(1270) 및 키보드(1250)가 대표적인 "사용자 입력 장치"이다. 마우스(1270)는 그래픽 사용자 인터페이스 장치에 대해 버튼을 선택하기 위한 버튼(1280)을 포함한다. 사용자 입력 장치의 다른 예로는 터치 스크린, 라이트 펜, 트랙 볼, 데이터 글로브, 마이크로폰 등이 있다. 도 12는 본 발명을 구현하기 위한 단지 한 유형의 시스템을 대표한다. 다수의 시스템 유형 및 구성이 본 발명과 함께 사용하기에 적합하다는 것이 당업자에게는 용이하게 이해될 것이다. 바람직한 하나의 구체예에서, 컴퓨터 시스템(1210)은 마이크로소프트 코퍼레이션에 의한 윈도우즈 XP 작동 시스템에서 운용되는 펜티엄급 컴퓨터를 포함한다. 그러나, 상기 장치는 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서 당업자에 의해 다른 작동 시스템 및 아키텍처(architecture)에 맞게 용이하게 개작된다.

[0123] 주지된 바와 같이, 마우스(1270)는 버튼(1280)과 같은 하나 또는 그 초과와 버튼을 가질 수 있다. 캐비넷(1240)은 디스크 드라이브, 프로세서, 저장 장치 등과 같은 친숙한 컴퓨터 부품을 수용한다. 저장 장치에는 이들로 제한되는 것은 아니나, 디스크 드라이브, 자기 테이프, 고체 상태 메모리, 버블 메모리 등이 포함된다. 캐비넷(1240)은, 컴퓨터 시스템(1210)을 하기 추가로 설명된 외부 장치, 외부 저장용 다른 컴퓨터 또는 추가의 주변 장치로 연결시키기 위한 입력/출력(I/O) 인터페이스 카드와 같은 추가적인 하드웨어를 포함할 수 있다.

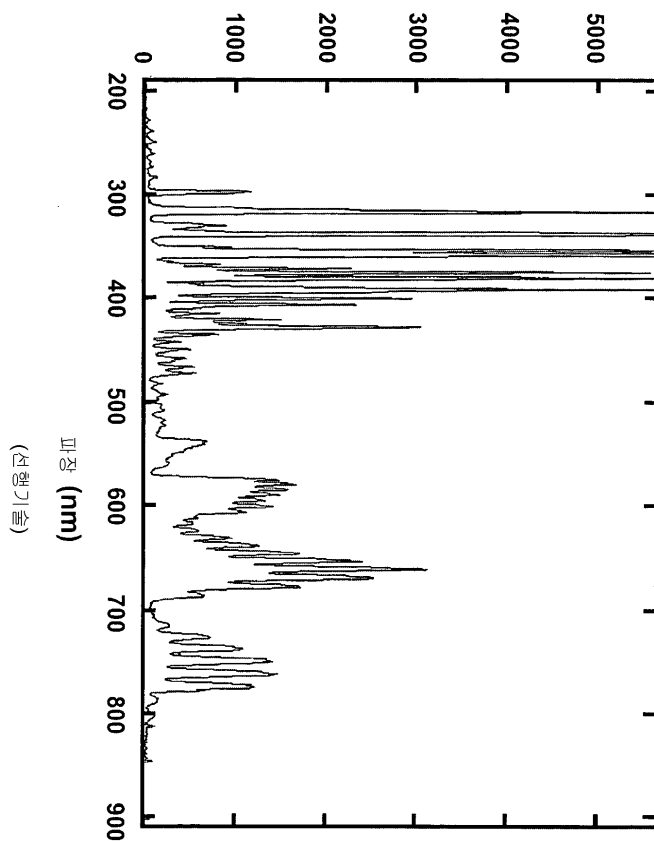
[0124] 도 12a는 도 12의 컴퓨터 시스템(1210)에서의 기본적인 하위시스템을 도시한다. 이 다이어그램은 단지 예시를 위한 것이며, 본원에서의 특허청구범위의 범위를 제한하지 않아야 한다. 당업자는 다른 변경, 변형 및 대안을 인지할 것이다. 특정 구체예에서, 하위시스템은 시스템 버스(1275)을 통해 상호연결된다. 프린터(1274), 키보드(1278), 고정된 디스크(1279), 어댑터(1282)를 디스플레이하기 위해 결합되는 모니터(1276), 및 기타 것들과 같은 추가적인 하위시스템이 도시되어 있다. I/O 컨트롤러(1271)에 결합하는 입력/출력(I/O) 장치 및 주변장치는 직렬 포트(1277)와 같은 당업자에게 공지된 임의의 수의 수단에 의해 컴퓨터 시스템에 연결될 수 있다. 예를

들어, 직렬 포트(1277)는 컴퓨터 시스템을 모뎀(1281)에 연결시키는데 사용될 수 있으며, 이는 차례로 인터넷과 같은 광역 네트워크, 마우스 입력 장치 또는 스캐너에 연결된다. 시스템 버스를 통한 상호연결은 중심 프로세서(1273)가 각각의 하위시스템과 소통될 수 있게 하며, 시스템 메모리(1272) 또는 고정된 디스크(1279)로부터의 지시의 실행, 및 하위시스템 간의 정보 교환을 제어할 수 있게 한다. 하위시스템 및 상호연결에 대한 다른 배열은 당업자에 의해 용이하게 이루어질 수 있다. 시스템 메모리, 및 고정된 디스크는 컴퓨터 프로그램의 저장을 위한 실체적 매체(tangible media)의 예이며, 다른 유형의 실체적 매체에는 플로피 디스크, 제거가능한 하드 디스크, 광 저장 매체, 예컨대 CD-ROM 및 바코드, 및 반도체 메모리, 예컨대 플래시 메모리, 리드-온리-메모리(ROM), 및 배터리 지지된(battery backed) 메모리가 포함된다.

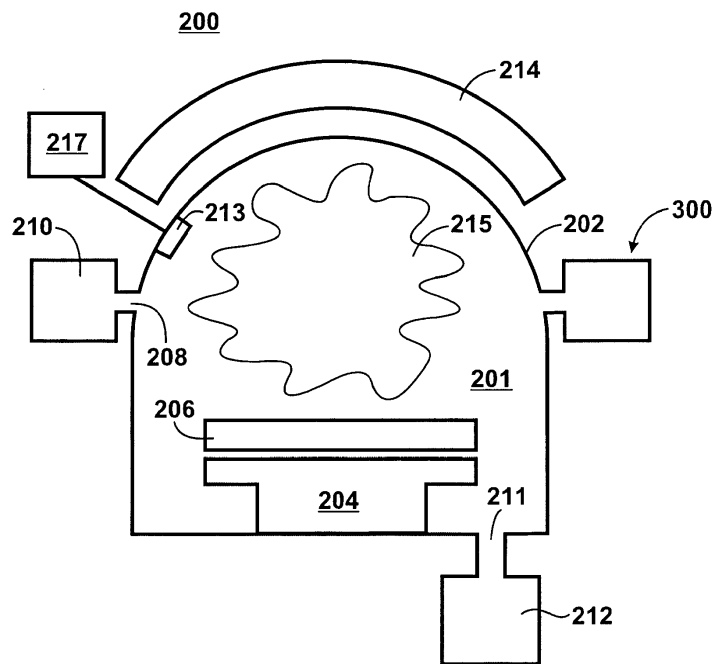
[0125] 본원에 설명된 실시예 및 구체예는 단지 예시를 위한 것이며, 다양한 변형 또는 변경이 당업자에게 제안될 것이고 이는 첨부된 특허청구범위의 범위 및 본원의 사상 및 범위 내에 포함될 것임이 이해된다.

## 도면

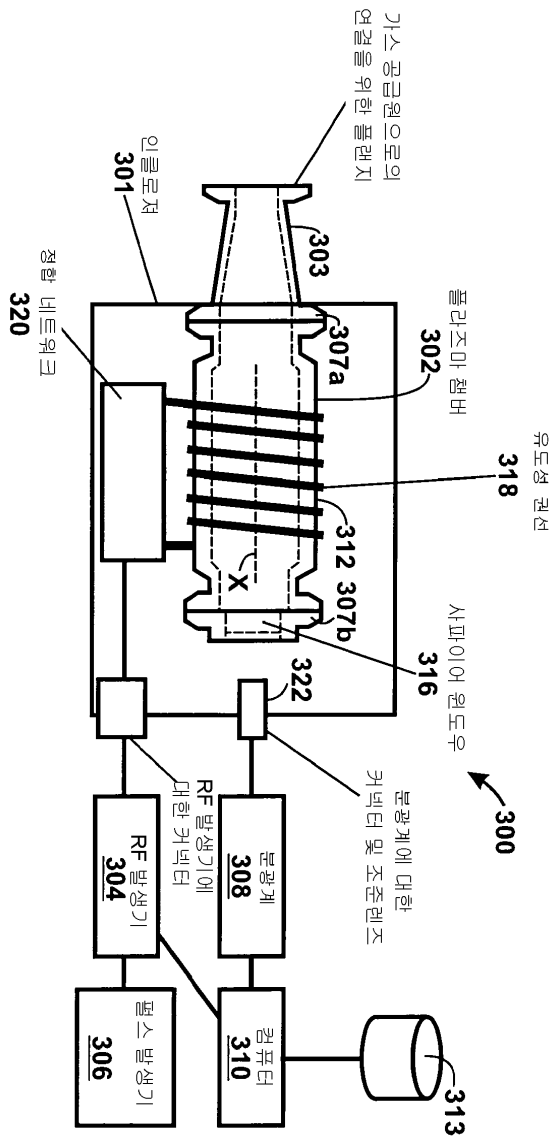
### 도면1



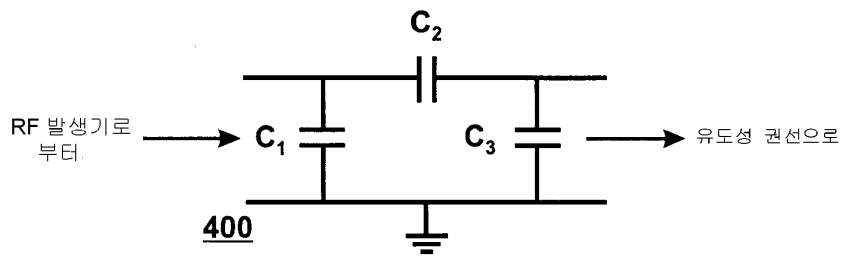
도면2



도면3

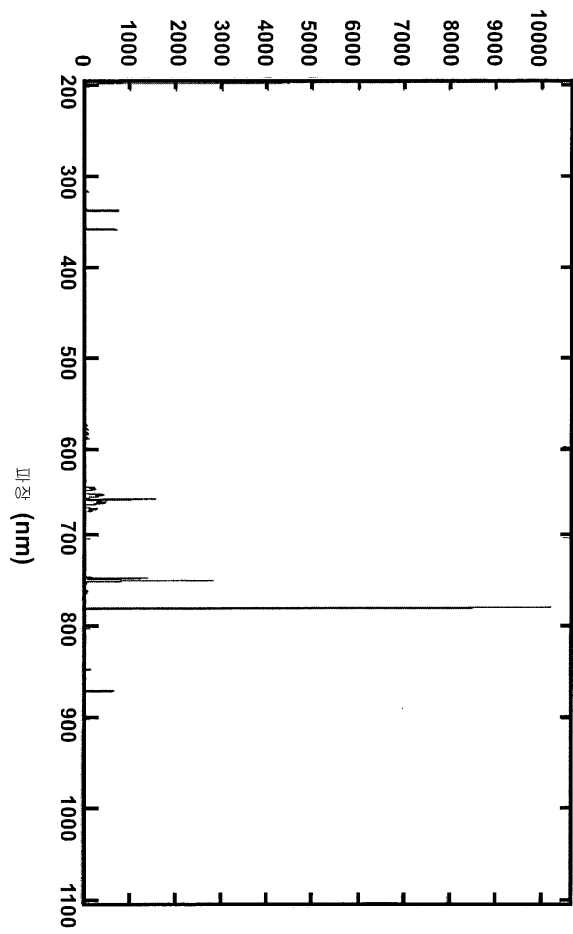


도면4

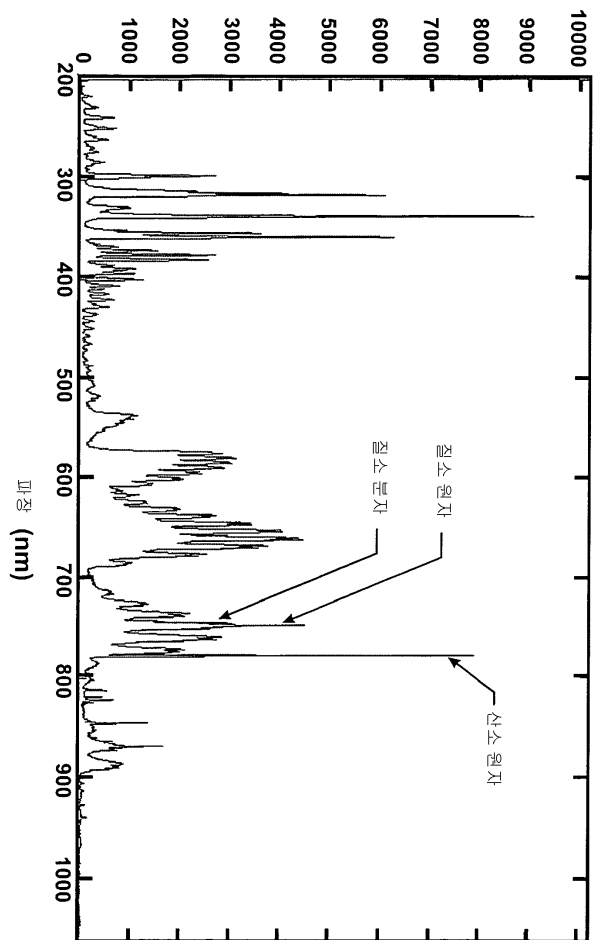




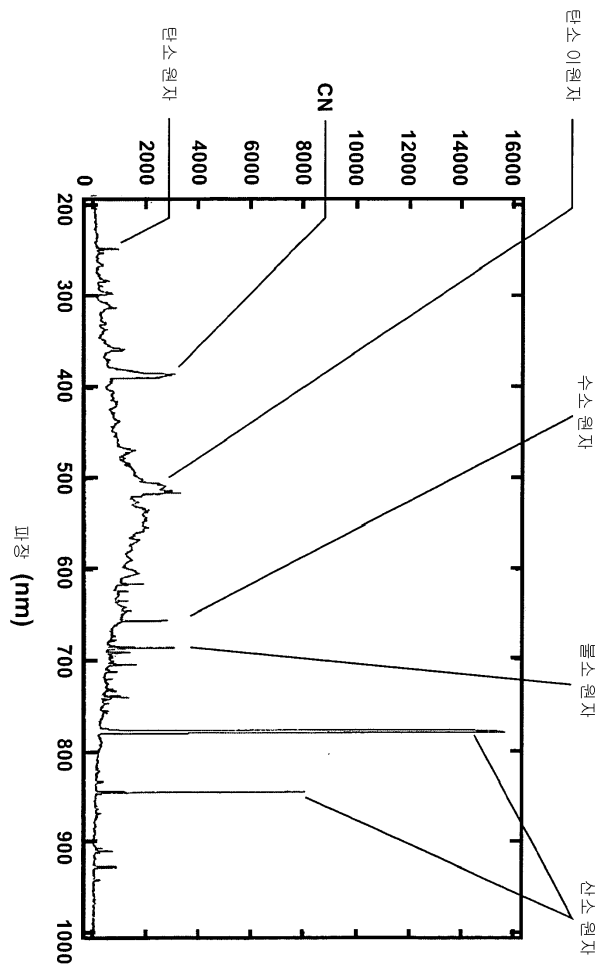
도면5



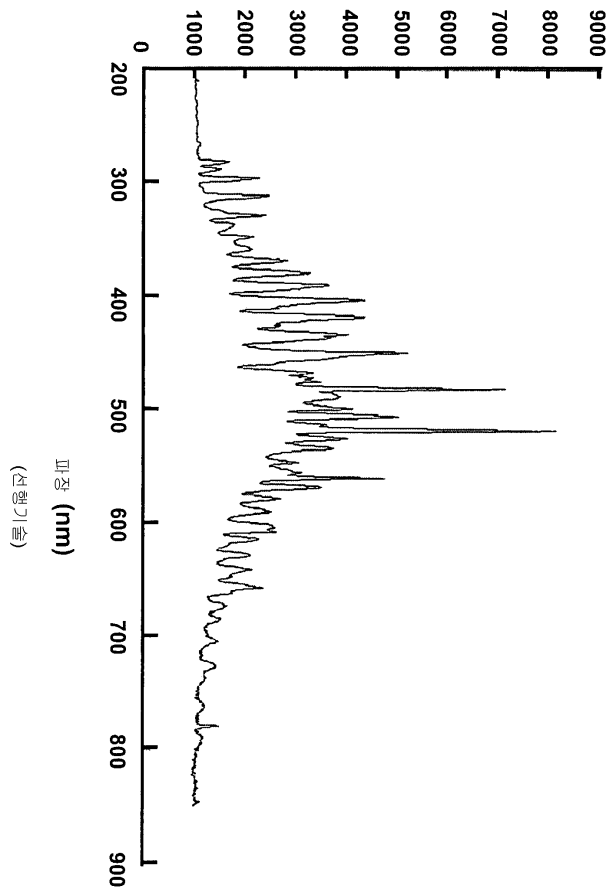
도면6



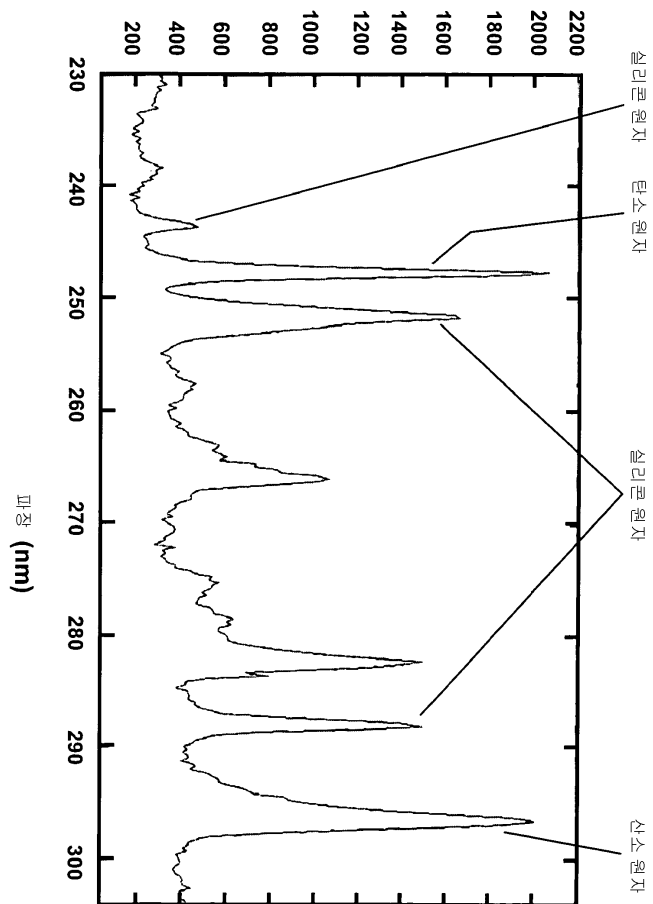
도면7



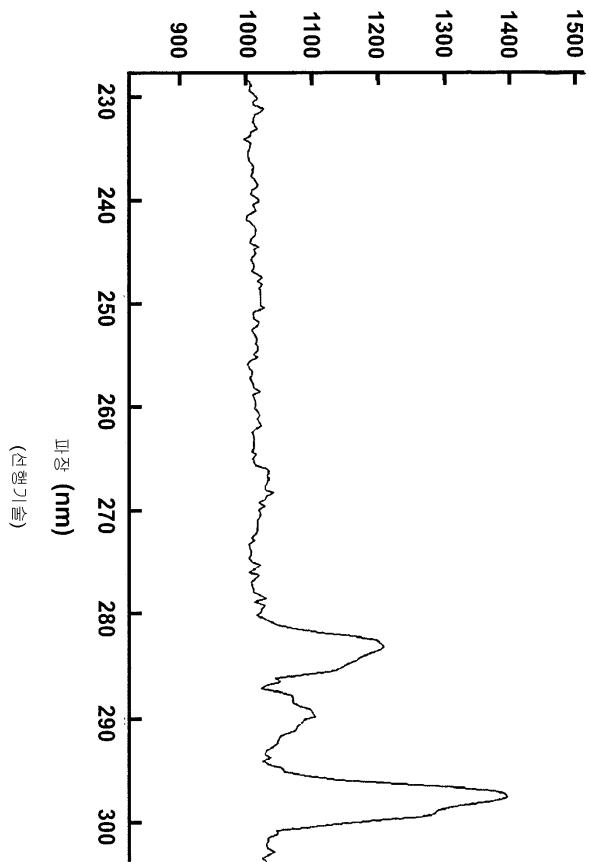
도면8



도면9



도면10



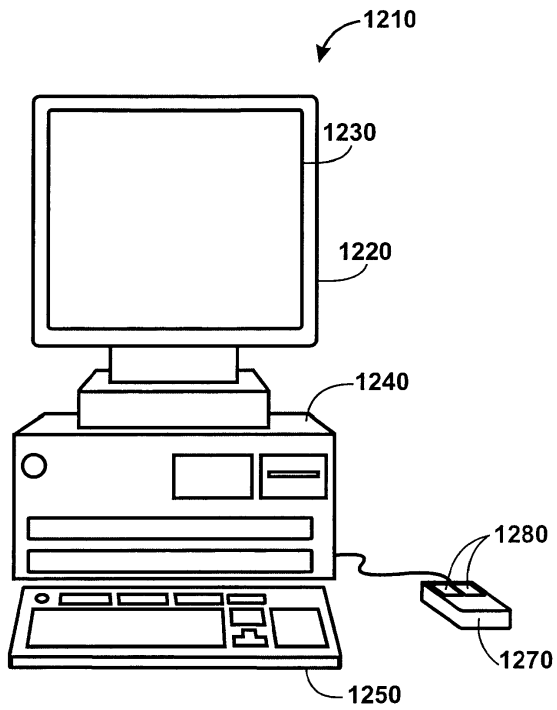
도면11

Observed	Rel.	Observed	Rel.	Observed	Rel.	Observed	Rel.	Observed	Rel.
Wave length	Int.	Wave length	Int.	Wave length	Int.	Wave length	Int.	Wave length	Int.
261.132	50	551.9668	15	716.7520	260	879.2603	25	1056.6536	123
259.576	50	582.1702	80	718.687	70	880.1210	30	1057.4211	120
206.195	40	566.7128	80	719.548	10	871.0008	40	1058.8041	120
210.388	30	566.7128	80	722.8197	103	875.4411	100		
211.510	20	570.4487	90	725.2623	180	879.2603	25		
213.479	100	570.4487	90	726.482	40	880.1210	30		
216.859	300	571.9261	45	729.1101	400	881.3127	15		
218.950	100	571.9261	45	729.2297	55	882.5043	10		
221.156	115	571.9261	45	732.7481	60	883.6960	5		
221.343	110	571.9261	45	737.7289	168	884.8877	5		
221.372	100	571.9261	45	738.2297	55	886.0794	5		
221.975	100	571.9261	45	741.7088	275	887.2711	5		
221.956	50	571.9261	45	746.7314	715	888.4628	5		
229.174	35	571.9261	45	746.7314	715	889.6545	5		
230.177	55	580.5523	49	741.1123	200	890.8462	5		
243.569	300	579.1897	70	748.2381	100	892.0379	5		
244.410	65	579.1897	70	748.2381	100	893.2296	5		
245.380	70	581.1876	85	751.4677	85	894.4213	5		
252.3900	350	611.3547	180	756.484	40	895.6129	5		
252.1067	425	611.3547	180	758.2127	10	896.8046	5		
252.3429	450	611.3547	180	758.2127	10	898.0000	5		
252.3412	110	611.3547	180	758.2127	10	899.1917	5		
252.3412	110	611.3547	180	758.2127	10	900.3834	5		
257.7923	145	621.0013	140	758.2127	10	901.5751	5		
261.2067	130	621.0013	140	758.2127	10	902.7668	5		
280.2424	1000	621.0013	140	758.2127	10	903.9585	5		
297.1222	55	621.0013	140	758.2127	10	905.1502	5		
298.8517	150	621.0013	140	758.2127	10	906.3419	5		
302.0884	75	621.0013	140	758.2127	10	907.5336	5		
300.6649	300	621.0013	140	758.2127	10	908.7253	5		
408.4128	50	621.0013	140	758.2127	10	909.9170	5		
479.3552	35	621.0013	140	758.2127	10	911.1087	5		
479.3564	80	621.0013	140	758.2127	10	912.3004	5		
484.8868	30	621.0013	140	758.2127	10	913.4921	5		
500.7457	40	621.0013	140	758.2127	10	914.6838	5		
549.476	40	621.0013	140	758.2127	10	915.8755	5		

Observed Wavelength Vac. (nm)	Rel. Int.
1066.2696	120
1066.7161	100
1071.0247	58
1075.2129	60
1078.7504	50
1079.3411	80
1083.0057	140
1084.8624	66
1087.177	100
1087.2518	130
1088.5793	50
1088.6318	30
1093.7215	80
1093.5059	20



도면12



도면12a

