



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

(45) 공고일자 2008년08월01일  
 (11) 등록번호 10-0849707  
 (24) 등록일자 2008년07월25일

(51) Int. Cl.

*H01L 21/3065* (2006.01)

- (21) 출원번호 10-2004-0060613
- (22) 출원일자 2004년07월30일  
심사청구일자 2006년12월20일
- (65) 공개번호 10-2005-0016080
- (43) 공개일자 2005년02월21일
- (30) 우선권주장  
10/632,873 2003년08월01일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌  
KR1019980069409 A\*  
KR1020000033432 A\*  
\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드  
 미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애  
 브뉴 3050

(72) 발명자

김윤상  
 미국, 95130 캘리포니아, 산 호세, 글리슨 애버뉴  
 3648

신능호

미국, 95129 캘리포니아, 산 호세, 노어워크 드라  
 이브 알-105 4325

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

윤종섭, 이 성 규, 이수완, 조진태

전체 청구항 수 : 총 15 항

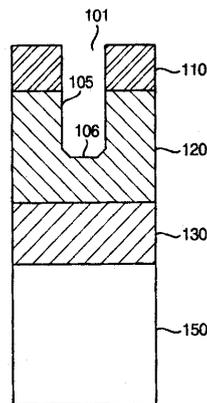
심사관 : 김성희

**(54) 탄소-도우핑된 저유전체들의 선택적 식각**

**(57) 요약**

본 발명은 플라즈마 식각 챔버 내에서 혼합 가스 플라즈마를 사용하여 기판 상에 형성된 저유전 물질(low-k dielectric material)을 선택적으로 식각하기 위한 공정을 포함한다. 혼합가스는 불소-리치(fluorine-rich) 불화탄소(fluorocarbon) 또는 수소화불화탄소(hydrofluorocarbon) 가스, 질소 함유(nitrogen containing) 가스, 및 하나 또는 그 이상의 첨가 가스들, 예컨대 수소-리치(hydrogen-rich) 수소화불화탄소 가스, 비활성 가스 및/또는 탄소-산소 가스를 포함한다. 상기 공정은, 저유전체 대 포토레지스트 마스크의 식각선택비가 약 5:1 보다 크고, 저유전체 대 장벽/라이너 층(barrier/liner layer)의 식각선택비가 약 10:1 보다 크며, 약 4000Å/min 보다 빠른 저유전 물질 식각률을 제공한다.

**대표도 - 도1**



(72) 발명자

**채희엽**

미국, 95124 캘리포니아, 산 호세, 토니게이트 웨이 1657

**치우, 조에이**

중화민국, 타우유안 카운티, 충-리 씨티, 밍-테르 로드, No. 226

**예, 안**

미국, 95070 캘리포니아, 사라토가, 비아 아리바 드라이브 13271

**티안, 팡**

미국, 94539 캘리포니아, 프레몬트, 나바조 웨이 750

**자오, 치아오예**

미국, 94040 캘리포니아, 마운틴 뷰, 휘츠 로드 117

**특허청구의 범위**

**청구항 1**

4 미만의 유전상수를 갖는 저유전 물질층을 선택적으로 식각하기 위한 플라즈마 식각 공정에 있어서,

상기 저유전 물질층이 위치하는 플라즈마 식각 챔버 내로 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스, 질소 함유 가스, 및 수소-리치 수소화불화탄소 가스를 포함하는 식각 혼합 가스를 공급하되, 상기 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스는  $CF_4$ ,  $C_2F_8$ ,  $CHF_3$  및 이들의 혼합가스들로 이루어진 군으로부터 선택되고, 상기 수소-리치 수소화불화탄소 가스는  $CH_2F_2$ ,  $CH_3F$  및 이들의 혼합가스들로 이루어진 군으로부터 선택되고

상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 상기 플라즈마 식각 챔버 내에서 유지하여 상기 저유전 물질층을 식각하는 것을 포함하되, 상기 식각 혼합 가스의 플라즈마는 상기 저유전층을 4000 Å/min 보다 빠른 식각률로 식각하는 플라즈마 식각 공정.

**청구항 2**

제 1 항에 있어서,

상기 불소-리치 불화탄소 가스는  $CF_4$  이고, 상기 질소 함유 가스는  $N_2$ 인 플라즈마 식각 공정.

**청구항 3**

삭제

**청구항 4**

삭제

**청구항 5**

제 1 항에 있어서,

상기 질소 함유 가스는  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $NF_3$  및 이들의 혼합가스들로 이루어진 군으로부터 선택되는 플라즈마 식각 공정.

**청구항 6**

삭제

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 식각 혼합 가스는 상기 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스를 제1 부피 유량(flow rate)으로, 질소 함유 가스를 제2 부피 유량으로, 수소-리치 수소화불화탄소 가스를 제3 부피 유량으로 공급함으로써 상기 플라즈마 식각 챔버 내로 공급되고, 상기 제2 부피 유량 대 상기 제1 부피 유량의 비가 1:4 내지 2:1 범위인 플라즈마 식각 공정.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 식각 혼합 가스는 상기 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스를 제1 부피 유량(flow rate)으로, 질소 함유 가스를 제2 부피 유량으로, 수소-리치 수소화불화탄소 가스를 제3 부피 유량으로 공급함으로써 상기 플라즈마 식각 챔버 내로 공급되고, 상기 제3 부피 유량 대 상기 제1 부피 유량의 비가 1:3 내지 1:1 범위인 플라즈마 식각 공정.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 저유전 물질층은 상기 플라즈마 식각 챔버 내의 페데스탈 상에 놓인 기판 상부에 있고,

상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 유지하는 것은 DC 바이어스가 상기 페데스탈과 상기 플라즈마 사이에 존재하도록 상기 플라즈마 식각 챔버 내로 RF 파워를 용량적으로 결합시키는 것을 포함하는 플라즈마 식각 공정.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,

상기 저유전 물질층은 상기 플라즈마 식각 챔버 내의 페데스탈 상에 놓인 기판 상부에 있고,

상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 유지하는 것은

상기 페데스탈에 바이어스 파워를 인가하고,

상기 페데스탈에 대항하는 상부(top) 전극에 소오스 파워를 인가하되, 상기 소오스 파워는 상기 바이어스 파워의 주파수 보다 더 높은 주파수를 갖는 플라즈마 식각 공정.

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,

상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 유지하는 것은 상기 챔버 내에 회전하는 자기장을 인가하는 것을 더 포함하는 플라즈마 식각 공정.

**청구항 12**

제 1 항에 있어서,

상기 식각 혼합 가스는 아르곤, 헬륨, 네온, 크세논 및 크립톤으로 이루어진 군으로부터 선택된 비활성 가스를 더 포함하는 플라즈마 식각 공정.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 식각 혼합 가스는 상기 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스를 제1 부피 유량(flow rate)으로, 상기 비활성 가스를 제2 부피 유량으로 공급함으로써 상기 플라즈마 식각 챔버 내로 공급되고, 상기 제2 부피 유량 대 상기 제1 부피 유량의 비는 20:1 내지 50:1 범위인 플라즈마 식각 공정.

**청구항 14**

컴퓨터에 의해 실행될 때 식각 반응기가 4.0 미만의 유전상수를 갖는 유전 물질층을 식각하게 하는 프로그램 지시들을 저장하는 컴퓨터 판독 매체(computer readable medium)에 있어서,

상기 프로그램 지시들은

상기 저유전물질층을 구비하는 기판을 상기 식각 반응기의 플라즈마 식각 챔버 내에 제공하고,

불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스, 질소함유 가스, 및 수소-리치 수소화불화탄소 가스를 포함하는 식각 혼합 가스를 상기 플라즈마 식각 챔버 내로 공급하되, 상기 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스는 CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>8</sub>, CHF<sub>3</sub> 및 이들의 혼합가스들로 이루어진 군으로부터 선택되고, 상기 수소-리치 수소화불화탄소 가스는 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>F 및 이들의 혼합가스들로 이루어진 군으로부터 선택되고

상기 저유전 물질층을 식각하기 위해 상기 플라즈마 식각 챔버 내에서 상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 발생시키는 것을 포함하되, 상기 식각 혼합 가스의 플라즈마는 상기 저유전층을 4000 Å/min 보다 빠른 식각률로 식각하는 컴퓨터 판독 매체.

**청구항 15**

제 14 항에 있어서,

상기 기판은 상기 플라즈마 식각 챔버 내의 페데스탈 상에 놓이고,

상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 발생시키는 것은 DC 바이어스가 상기 페데스탈과 상기 플라즈마 사이에 존재하도록 상기 플라즈마 식각 챔버 내로 RF 파워를 용량적으로 결합시키는 것을 포함하는 컴퓨터 판독 매체.

**청구항 16**

제 14 항에 있어서,

상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 발생시키는 것은 상기 페데스탈에 RF 바이어스 파워를 공급하고 상기 페데스탈에 대항하는 상부전극에 VHF 파워를 공급하는 것을 포함하는 컴퓨터 판독 매체.

**청구항 17**

8% 이상의 탄소 함량을 갖는 저유전 물질층으로 코팅된 기판을 플라즈마 식각 챔버 내에 제공하고,

불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스, 질소함유 가스, 및 하나 또는 그 이상의 첨가 가스들을 포함하는 식각 혼합 가스를 상기 플라즈마 식각 챔버 내로 공급하되, 상기 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스는  $CF_4$ ,  $C_2F_8$ ,  $CHF_3$  및 이들의 혼합가스들로 이루어진 군으로부터 선택되고, 상기 첨가 가스들은 수소-리치 수소화불화탄소 가스, 비활성 가스, 및 탄소-산소 가스 중 하나를 포함하고, 상기 수소-리치 수소화불화탄소 가스는  $CH_2F_2$ ,  $CHF_3$  및 이들의 혼합가스들로 이루어진 군으로부터 선택되고,

상기 플라즈마 식각 챔버 내에서 상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 유지하여 상기 저유전 물질층을 식각하는 것을 포함하되, 상기 식각 혼합 가스의 플라즈마는 상기 저유전층을 4000 Å/min 보다 빠른 식각률로 식각하는 다마신 또는 듀얼 다마신 구조체들을 생성하기 위한 방법.

**청구항 18**

삭제

**청구항 19**

삭제

**청구항 20**

제 17 항에 있어서,

상기 기판은 상기 플라즈마 식각 챔버 내의 페데스탈 상에 놓이고,

상기 식각 혼합 가스의 플라즈마를 유지하는 것은 상기 페데스탈에 RF 바이어스 파워를 공급하고 상기 페데스탈에 대항하는 상부 전극에 VHF 파워를 공급하는 것을 포함하는 다마신 또는 듀얼 다마신 구조체들을 생성하기 위한 방법.

**명세서**

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

<9> 본 발명은 반도체 공정 기술들에 관한 것으로, 특히 저유전상수를 갖는 유전물질층 내에 패턴들을 식각하는 것에 관한 것이다.

<10> 현 반도체 소자들의 최대 동작 속도는 금속 배선들의 시간 지연 인자  $T = RC$  에 의해 제한되며, 여기서 R 은 상기 금속배선들의 저항이고 C 는 상기 금속배선들을 둘러싸는 절연물질의 커패시턴스(capacitance)이다. 집적회로들의 최소 피쳐(feature) 크기가 계속 감소함에 따라, 상기 금속배선들이 더 얇아지고 더 밀집되며, 이는 더 큰 금속배선들의 저항 및 더 큰 선간 커패시턴스를 초래하고 따라서 더 긴 시간지연을 초래한다. 다른 물질들, 즉 금속배선에 대해 더 높은 전도율 물질과 절연물질에 대해 더 낮은 유전율(low-k) 유전체로 변경함으로써, 최대동작 속도에 악영향을 미치지 않으면서 소자크기가 계속하여 감소할 수 있다. 현재 또는 장래의 반도체 소자

들을 제조하기 위한 후공정 흐름(backend process flow)에서, 알루미늄 및 이산화실리콘(silicon dioxide)이 구리(copper) 및 저유전체들(low-k dielectrics), 예컨대 유기실리케이트(organosilicate) 글래스로 대체되었다.

<11> 알루미늄/산화물에서 구리/저유전체로의 대체는 후 제공정 흐름에서 다양한 근본적인 변화들과 연관된다. 구리를 식각하는 것은 어렵기 때문에, "다마신" 또는 "듀얼 다마신(dual damascene)" 공정과 같은 새로운 접근이 요구된다. 구리 다마신/듀얼-다마신은 비아들 및 트렌치들이 상기 절연물질 내에 식각 형성되는 공정이다. 그 후, 구리가 상기 비아들 및 트렌치들 내에 채워지고 다시 연마되어 도전물질들이 상기 비아들 및 트렌치들 내에 남겨진다. 이 공정에서 발생하는 많은 문제들 중, 저유전체들 내에 트렌치들 및 비아들을 식각하는 것이 까다로울 수 있으며, 이는 더욱 복잡한 상기 유전물질의 화학조성물 및 적용가능한 다양한 종류의 저유전물질들에 기인한다. 저유전 물질을 식각하기 위한 식각 케미스트리는 상기 물질 내의 탄소, 수소, 실리콘, 불소 및 산소의 양과 조화하도록 맞추어져야 한다.

<12> 다른 인접 물질층들을 식각하는 속도에 대한 저유전층을 식각하는 속도의 비가 식각선택비라 한다. 포토레지스트층이 전형적으로 식각 공정 동안 상기 저유전층의 마스크로 사용된다. 피쳐 크기들이 계속 감소함에 따라, 더 작은 피쳐 크기들에 의해 내포된 리소그래피 관련 문제들을 해결하기 위해 상기 포토레지스트 마스크가 더 얇아진다. 상기 더 얇은 레지스트는 유전체 식각선택비에 관해 더 정밀한 제어를 요구한다. 그러나, 포토레지스트와 같이, 많은 저유전물질들도 탄소 및 수소를 함유하여 상기 식각선택비 요구사항을 충족시키는 것을 어렵게 한다. 그러므로, 통상의 유전체 식각 공정들과 비교하여, 저유전물질들을 선택적으로 식각하는 것은 공정 케미스트리 및 공정 파라미터들의 더욱 정밀한 조절을 요구한다.

<13> 저유전체들을 식각하는 것과 관련한 또 다른 문제는 패턴밀도 및 식각형성된 피쳐들(예컨대, 비아들 및 트렌치들)의 지형크기들에 대한 저유전체 식각률의 의존성이며, 이는 식각률 미세로딩(microloading) 혹은 미세로딩으로 알려져 있다. 상기 식각률 미세로딩은 서로 다른 크기들을 갖는 피쳐들 내의 식각률 차이의 측정치이며, 큰 피쳐 내의 식각률과 작은 피쳐 내의 식각률의 차이를 상기 큰 피쳐 내의 식각률로 나누어 백분율로 계산된다. 미세로딩은 작은 피쳐의 개구부 크기가 감소함에 따라 그리고 작은 피쳐의 종횡비(aspect ratio)가 증가함에 따라 증가하는 것으로 알려져 있다.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

<14> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는, 인접층들에 대해 개선된 식각선택비를 가지고 저유전층을 식각하기 위한 공정 및 종래의 저유전체 식각공정들과 비교하여 완화된 미세로딩을 갖는 저유전층을 식각하기 위한 공정을 제공하는 것이다.

**발명의 구성 및 작용**

<15> 본 발명은 인접층들에 대해 개선된 식각선택비 및 종래의 저유전체 식각공정들과 비교하여 완화된 미세로딩을 가지고 저유전층을 식각하기 위한 공정을 제공한다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 저유전층이 장벽/라이너 층(barrier/liner layer)을 구비하는 기판 상에 형성되고, 그 위에 포토레지스트 마스크가 위치한다. 상기 기판은 플라즈마 식각 챔버 내에 놓이고, 혼합 가스(gas mixture) 플라즈마가 턴온되고 상기 플라즈마 식각 챔버 내에 유지되어 상기 저유전층을 식각한다. 상기 혼합가스는, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>8</sub>, CHF<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 등과 같은 불소-리치(fluorine-rich) 불화탄소(fluorocarbon) 또는 수소화불화탄소(hydrofluorocarbon) 가스, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NF<sub>3</sub> 등과 같은 질소 함유(nitrogen-containing) 가스, 및 하나 또는 그 이상의 첨가 가스들, 예컨대 비활성 가스, 수소함유(hydrogen-containing) 가스, 및/또는 탄소-산소(carbon-oxygen) 가스를 포함한다.

<16> 본 발명의 식각 공정은 상부 마스크층 및 하부 장벽/라이너 층과 관련하여 양호한 식각률 및 높은 식각선택비들을 가지고 저유전층을 식각하는 데 유용하다. 아래에 더 상세하게 설명되는 바와 같이, 상기 식각공정은 상기 마스크층으로 덮이지 않은 상기 저유전층의 일부를 활성화된 가스, 예컨대 활성화되고 반응성이 큰 물질들을 포함하는 플라즈마에 노출함으로써 수행된다. 상기 플라즈마는, 예컨대 자기 강화 반응성 이온 식각(magnetically enhanced reactive ion etching; MERIE) 반응기 또는 미국 캘리포니아주 산타클라라의 어플라이드 머티어리얼즈사(Applied Materials, Inc.)로부터 입수가 가능한 센투라(CENTURA®) 반도체 웨치퍼 공정 시스템의 일부로서 사용되는 이중 주파수 커패시티브(dual frequency capacitive) 플라즈마 소오스 식각 반응기와 같은 플라즈마 반응기 내에서 통상적으로 생성된다.

<17> 상기 저유전층은 전형적으로 기판 상에 형성되고 식각될 피쳐들(features)을 한정하는 마스크를 구비하여 패터

닝된다. 도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따른 저유전체 식각 공정 도중에, 기판(150) 상의 저유전층(120) 내에 트렌치 또는 비아와 같은 피처(101)를 갖는 웨이퍼(100)의 단면을 나타내며, 상기 피처(101)의 측벽(105) 및 바닥면(106)이 상기 식각 공정에 의해 노출된 상태이다. 패터닝된 마스크층(110)은 상기 유전층(120)을 부분적으로 덮으며, 피처(101)의 개구부를 한정한다. 몇몇 응용예들에서, 상기 유전층(120)은 장벽/라이너 층(130)에 의해 상기 기판으로부터 이격된다. 금속배선들(도시하지 않음)이 또한 상기 장벽/라이너 층 아래에 위치할 수 있다. 몇몇 응용예들에서, 상기 장벽/라이너 층(130)은, 상기 금속배선들과 유전층(120) 사이의 확산장벽층으로서, 또한 상기 유전층(120)을 식각하는 동안 식각정지막(etch stop layer)으로서 모두 작용한다.

<18> 본 발명의 일 실시예에서, 상기 유전층(120)은 이산화실리콘(silicon dioxide; SiO<sub>2</sub>)의 유전상수 약 4.0 보다 작은 유전상수를 갖는 저유전(low-k dielectric)물질을 포함한다. 상기 저유전층(120)의 두께는 약 0.4-1.5 μm 이고, 상기 마스크층(110)의 식각전 두께는 전형적으로 약 1930 Å이며, 상기 장벽/라이너 층(130)의 두께는 보통 수백 Å이다. 이들 층들은 실제 크기 비율로 도시되진 않았다.

<19> 도 2는 본 발명의 공정들을 수행하기 위해 사용될 수 있는 반응기의 일 예인 상기 MERIE 반응기(200)의 개략 단면도이다. 상기 반응기(200)는 벽(212), 바닥(214) 및 천장(260)으로 둘러싸인 챔버(210)를 포함한다. 상기 챔버는 약 5,000 내지 약 50,000 cm<sup>3</sup>의 영역을 포괄하는 공정지대(118)를 포함한다. 반응기(200)는 챔버(210)의 천장(260)에 있는 가스 다기관(gas manifold, 262) 및 가스 분산 플레이트(gas distribution plate; GDP, 264)를 통해 챔버(210) 내로 가스 조성물들을 공급하여 공정 가스를 형성하는 공정 가스 서플라이(220)를 더 포함한다. 사용된 공정 가스 및 휘발성 식각 산물들은 펌프(240)에 의해 챔버(210)에서 배출된다. 트로틀 밸브(throttle valve, 245)가 챔버(210) 내의 압력을 제어한다. 측벽(212), 바닥(214), 천장(260) 및 가스분산 플레이트(GDP, 264)는 보통 챔버(210)의 적어도 내부를 향하는 면들 상에 양극처리된(anodized) 알루미늄 코팅을 구비하는 알루미늄으로 제조된다. 상기 측벽(212), 바닥(214), 천장(260) 및 가스분산 플레이트(GDP, 264)는 전형적으로 접지된다.

<20> 챔버(210)는 챔버(210) 내에서 기판(300)을 지지하는 페데스탈(pedestal, 230)을 포함한다. 페데스탈(230)은 절연체 지지링(232)에 의해 바닥(214)으로부터 전기적으로 격리되며 임피던스 매치 네트워크(impedance match network, 255)를 통해 고주파 주파수(radio frequency; RF) 파워 소오스(250)에 연결된다. 페데스탈(230)은 정전기 척(electrostatic chuck), 진공 척(vacuum chuck) 또는 다른 웨이퍼 지지 기구들(도시하지 않음)을 포함하며, 기판 온도 제어 시스템(도시하지 않음)에 열적으로 연결될 수 있다. 상기 기판 온도 제어 시스템, 예컨대 저항 가열 코일 및/또는 가열 또는 냉각 유체 시스템에 연결된 유체 통로들은 플라즈마 공정 동안 상기 기판(150)의 온도 제어를 용이하게 한다.

<21> CPU(282), 메모리(284) 및 CPU(282)를 위한 지지회로들(support circuits, 286)을 포함하는 제어기(controller, 280)는 반응기(200)의 다양한 구성요소들에 결합되어 본 발명의 식각 공정들을 제어한다.

<22> 도 2의 반응기 배열은 반응성 이온 식각(reactive ion etching; RIE) 공정들을 쉽게 하는 데, 여기서 상기 플라즈마는, 벽(212) 및 천장(260)이 접지된 동안, 페데스탈(230)에 약 100 내지 약 3000 와트의 파워 레벨로 RF 전압을 인가함으로써 생성된다. RF 소오스가 턴온됨에 따라, 페데스탈(230)이 음의 전극(cathode electrode)으로 동작하고, 상기 접지된 벽(212), 천장(260) 및 가스분산 플레이트(GDP, 264)는 모두 양의 전극(anode electrode)의 역할을 한다. 상기 플라즈마는 따라서 상기 음 및 양의 전극들 사이에서 용량적으로 결합된 RF 파워에 의해 생성되고 유지된다. 상당한 DC 바이어스가 전형적으로 상기 플라즈마와 상기 음의 전극 사이에 존재하여, 상기 기판 상에 강한 이온 충돌을 일으킨다.

<23> 도 2는 본 발명을 실시하기 위해 사용될 수 있는 다양한 종류의 플라즈마 반응기들 중 단지 하나의 전형적인 배열을 보여준다. 예를 들어, 본 발명의 적용에 영향을 주지 않으면서, 반응기(200)는 RF 파워 소오스(250)에 더하여 또는 이를 대체하여 다른 파워 소오스들을 포함할 수 있고, 파워는 당해 기술분야에서 공지된 것과 같은 다르게 배열된 결합 하드웨어(coupling hardware)를 통해 챔버(210)에 결합되어 플라즈마를 발생시키고 유지할 수 있다. 예를 들어, 두개의 분리된 파워 서플라이들, 예컨대 소오스 파워(source power) 및 바이어스 파워(bias power)를 구비하는 반응기가 본 발명을 실시하기 위해 사용될 수 있다. 상기 소오스 파워는 인덕터 코일에 인가되어 상기 플라즈마에 에너지를 유도 결합하는 RF 소오스 파워일 수 있으며, 상기 바이어스 파워는 지지 페데스탈에 인가되어 상기 플라즈마에 대해 상기 기판을 바이어스하는 또 다른 RF 소오스 파워일 수 있다. 택일적으로, 상기 소오스 파워는 천장 전극에 인가되는 초고주파수(very high frequency; VHF), 예컨대 20-250 MHz 파워일 수 있으며, 상기 바이어스 파워는 상기 천장전극에 대항하는 웨이퍼 지지 페데스탈에 인가되는 RF 파워일 수 있으며, 또는 그 역일 수 있다.

- <24> 도 3은 또 다른 예로서 본 발명의 택일적인 실시예에 따른 두개의 파워 서플라이들, 즉 RF 바이어스 파워 서플라이(350) 및 VHF 소오스 파워 서플라이(370)를 채택하는 반응기(300)을 도시한다. 반응기(300)는 원통모양의 벽(305) 및 도전 천장(362)에 의해 둘러싸인 진공 챔버(301)를 포함한다. 본 발명의 일 실시예에서, 진공 챔버(301)의 벽(305)은 알루미늄으로 제조되고 접지된다. 벽(305)의 내면(306) 및 외면(307)은 양극처리되어 부식을 방지한다. 웨이퍼 지지 페데스탈 혹은 바닥 전극(315)은 진공챔버(301)의 저면에 위치하고 기판(150)을 지지한다. 상기 웨이퍼 지지 페데스탈(315)은 절연체 링(316)에 의해 챔버 벽(305)과 절연되고, 기판(150)을 지지하고 상기 기판 온도를 제어하기 위한 기구들을 포함한다. 진공펌프(325)가 상기 진공 챔버(301) 내의 진공 상태를 유지한다.
- <25> RF 바이어스 파워 서플라이(350) 및 VHF 소오스 파워 서플라이(370)는 각각 두 개의 전극들, 즉 상기 웨이퍼 지지 페데스탈인 하부 전극(315) 및 상부 전극(360) 중 각 하나에 연결된다. 상기 하부전극은 하부 임피던스 매치 네트워크(355)를 통해 RF 바이어스 파워 서플라이(350)에 전기적으로 연결된다. 상부전극(360)은 도전천장(362)과 접촉하고, 차례로 상부 임피던스 매치 네트워크(375)를 통해 소오스 파워 서플라이(370)에 연결된다. 본 발명의 일 실시예에서, 상부전극은 또한 가스 분산 플레이트(GDP)이고, 공정가스가 챔버(301) 내로 유입하도록 하는 간격들 또는 홀들을 갖는다. 이를 위해, 공간(368)이 도전 플레이트(362)와 상부전극(360) 사이에 제공되어 가스 서플라이(340)에 결합된 가스 분산 다기관(manifold)으로서 작용한다. 지지링(366)이 상부전극(360)을 지지하고, 상부전극(360)과 진공 챔버 벽(305)을 절연시킨다.
- <26> 본 발명의 일 실시예에서, 바이어스 및 소오스 파워 서플라이들(350, 370)의 주파수들은 각각 13.5 MHz 및 60 MHz 이다. 상기 두 개의 RF 파워 서플라이들 사이의 상호작용을 최소화하기 위해 필터링(filtering)이 채택된다. 본 발명의 일 실시예에서, 이러한 필터링은 60 MHz 신호에 대해 고 임피던스(impedance)인 반면에 13.6 MHz에서 상부전극(360)을 접지하는 매치 네트워크(375) 내의 인덕터를 사용하여 수행된다. 유사하게, 커패시터가 13.6 MHz에 대해 고 임피던스인 반면에 60 MHz에서 하부전극(315)을 접지시키기 위해 매치 네트워크(355) 내에서 사용될 수 있다. 그러므로, 두개의 RF 파워 소오스들(350, 370)은, 소오스 파워(370) 및 바이어스 파워 소오스(350)로부터 진공 챔버(301)에 결합된 파워의 상대적인 양이 원하는 바와 같이 할당될 수 있도록, 독립적으로 제어 가능하다. 근사적으로, VHF 소오스 파워(370)가 플라즈마 밀도를 제어하는 데, 이는 더 효율적인 변위 전류(displacement current) 및 더 높은 RF 주파수들과 관련된 쉬스(sheath) 가열 기구들에 기인한다. 바이어스 RF 파워 소오스(350)의 더 낮은 주파수 여기는 기판 바이어스 또는 웨이퍼(150)에 충돌하는 이온들의 에너지를 제어한다. 따라서, 반응기(300)는 상기 플라즈마 밀도와 상기 기판 바이어스의 독립적인 제어를 허용한다.
- <27> 본 발명의 일 실시예에서, 반응기(300)의 동작은 CPU(382), 메모리(384) 및 CPU(282)를 위한 지지 회로들(386)을 포함하는 제어기(380)에 의해 메모리(384)에 저장된 프로그램 지시들에 따라 제어된다. 상기 제어기(380)는 반응기(300)의 다양한 구성요소들에 결합되어 본 발명의 식각 공정들을 제어한다.
- <28> 반응기(200) 또는 반응기(300)을 사용하여 본 발명의 식각 공정들을 수행하기 위해, 챔버(210 또는 301)는 펌프(240 또는 325)에 의해 약 1 mTorr 미만의 압력으로 펌핑된다. 기판(150)은 거의 진공상태로 유지되는 로드락 이송챔버(load lock transfer chamber, 도시하지 않음)에서 챔버(210 또는 301) 내로 이송되어 페데스탈(230 또는 315) 상에 놓여진다. 그후, 가스성분들이 다양한 볼륨 유량들로 챔버(210 또는 301)내에 공급되어 공정 가스를 형성한다. 챔버(210 또는 301) 내 압력이 일단 원하는 수준으로 안정화되면, 파워 소오스(250 또는 370)가 턴온되어 공정지대(201 또는 302)에 상기 공정 가스의 플라즈마를 발생시킨다. 반응기(300)가 사용될 때, 바이어스 파워(350)도 또한 턴온되고 적당한 수준으로 조정되어 페데스탈(315)과 상기 플라즈마 사이에 원하는 바이어스를 확보할 수 있다. 단위부피 당 이온수로 정의되는 플라즈마 밀도는 챔버 벽(212 또는 305) 둘레에 자석들(270)을 배치하여 챔버(210 또는 301) 내에 천천히 회전하는 자기장을 제공함으로써 강화될 수 있다. 상기 자석들은 저주파(예컨대, 0.1-0.5 헤르쯔) AC 전류원(도시하지 않음)의 각 상들(phases)과 함께 구동되는 전자석일 수 있다. 택일적으로, 상기 자석들은 예를 들면 초당 0.1-0.5 회전으로 천천히 회전하는 지지 구조체(도시하지 않음) 상에 탑재된 영구자석들일 수 있다.
- <29> 불화탄소(fluorocarbon) 또는 수소화불화탄소(hydrofluorocarbon) 가스를 포함하는 플라즈마는 이산화실리콘(silicon dioxide)을 식각하기 위해 사용되어 왔다. 상기 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스는 유전층(120) 내의 Si-O 결합을 깨는 불소 및 CF<sub>x</sub> 종들(species)을 플라즈마 내에 내놓는다. 식각반응은 다음의 반응식 1을 포함한다.

**반응식 1**



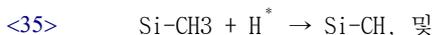
<31> 여기서 식각 산물들 SiF<sub>4</sub> 및 CO 는 모두 휘발성이며 챔버(210) 밖으로 펌핑될 수 있다. 동시에, 몇몇 CF<sub>x</sub> 종들 (x=1,2,3)은 상기 유전층과 반응하기 전에 서로 또는 다른 종들과 결합하여 상기 피쳐 표면들 상에 폴리머 보호 증착물을 형성할 수 있다. 피쳐 측벽들(105)은 피쳐 바닥면(106) 보다 플라즈마로부터의 이온충돌이 적기 때문에, 이들 보호 증착물들은 피쳐 측벽들(105) 상에 더 많이 축적되고, 그 결과 이방성 식각이 강화된다. 실제로, 이산화실리콘막들과 같은 종래의 유전체들을 식각하는 동안, CF<sub>x</sub> 종들은 이방성 식각 프로파일(profile)을 달성하는 데 있어서 중요한 것으로 간주된다. 따라서, 이산화실리콘막들을 식각하기 위한 많은 식각 케미스트리들은, 측벽보호를 위한 충분한 보호 증착물들을 제공하기 위해, 상대적으로 높은 탄소 대 불소 비율을 갖는 불화탄소, 예컨대 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>4</sub>F<sub>6</sub> 등을 사용한다.

<32> 그러나, 상대적으로 높은 탄소 대 불소 비를 갖는 불화탄소 가스의 사용은 종종 더 느린 식각률 및 큰 미세로딩 (microloading)으로 이어진다. 본 발명의 발명자는, 탄소 도우핑된(carbon-doped) 저유전체들을 식각할 때, 상기 저유전체들 내의 카본이 불소-리치(fluorine-rich) 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스들, 즉 상대적으로 낮은 탄소 대 불소 비를 갖는 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스들의 사용을 허용하는 것을 발견했다. 상기 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스들의 예들은 CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>8</sub>, CHF<sub>3</sub> 등을 포함하며 그것들 중 CF<sub>4</sub>가 더 자주 선호된다. 상기 식각 공정들 동안 저유전체들 특히 상대적으로 높은 탄소량(예컨대 8% 이상)을 함유하는 저유전체들에서 탄소가 방출되기 때문에, 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스들의 사용으로 충분한 측벽 보호가 달성될 수 있다. 그 결과, 저유전체 식각 공정에서 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스의 사용은 종종 높은 저유전체 식각률, 포토레지스트 마스크에 대한 더 나은 식각선택비, 및 더 작은 양의 미세로딩으로 이어진다.

<33> 저유전층(320) 내의 더 복잡한 화학 조성들은 자주 공정 가스 내의 더 복잡한 케미스트리를 필요로 한다. CH<sub>3</sub>와 같은 알킬 그룹들을 포함하는 탄소 도우핑된 이산화실리콘막들과 같은 저유전체들에 대해, 공정 가스 내의 질소 함유(nitrogen-containing) 가스가, 포토레지스트에 대한 식각선택비에 악영향을 주지 않으면서, Si-CH<sub>3</sub> 결합을 깨는 데에 도움이 된다는 것이 발견되었다. 도 4a 및 도 4b에 도시된 바와 같이, CF<sub>4</sub> 계열의 공정 가스 또는 CF<sub>4</sub>/CHF<sub>3</sub> 혼합 계열의 공정 가스에 소정 양의 N<sub>2</sub>를 첨가함으로써 상기 저유전체 식각률이 상당히 증가된다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에서 상기 공정 가스는 종종 질소 함유 가스를 포함한다. 적합한 질소 함유 가스들은 N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NF<sub>3</sub>를 포함하며, 그 중 N<sub>2</sub>가 더 자주 사용된다. 또한, 도 4a 및 도 4b는, N<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub> 또는 N<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub>/CHF<sub>3</sub>의 부피유량비(또는 유량비)가 각각 0.4 또는 0.3을 초과하여 증가할 때, 상기 저유전체 식각률이 떨어지기 시작하며, 따라서 특정한 적용에 따라서 최적 범위의 N<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub> 또는 N<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub>/CHF<sub>3</sub> 유량비가 존재할 수 있다는 것을 보여준다.

<34> 불소-리치 불화탄소 또는 수소화불화탄소 가스 및 질소 함유 가스 이외에, 공정 가스는 종종 하나 또는 그 이상의 첨가 가스들, 예컨대 수소 함유(hydrogen-containing) 가스, 비활성 가스, 및/또는 탄소-산소 가스를 포함한다. 상기 수소 함유 가스는, 질소 또는 질소 함유 라디칼들(radicals)과 결합할 때 Si-CH<sub>3</sub> 결합을 더 빨리 깨고 그 결과 더 빠른 식각률 및 포토레지스트에 대한 더 높은 식각선택비를 달성하는 수소 또는 수소 함유 라디칼들을 제공하기 위해 첨가될 수 있다. 적합한 수소 함유 가스들은 수소 리치(hydrogen-rich) 수소화불화탄소 가스들, 예컨대 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>F 등을 포함한다. 공정 가스 내에 상기 질소 함유 가스 및 수소 함유 가스를 구비함으로써, 식각 반응은 다음 반응식 2 및 반응식 3을 포함한다.

**반응식 2**



**반응식 3**



<37> 여기서 α, β 및 γ는 정수들이고, 식각산물들 C<sub>α</sub>H<sub>β</sub>N<sub>γ</sub>는 전형적으로 휘발성이다. 상기 플라즈마와 상기 저유전

층 사이의 상호 반응들로부터 생성되는 다른 가능한 부산물들은 CO, CN, NH<sub>x</sub>, NF<sub>x</sub>, HF, C<sub>3</sub>H<sub>2</sub> 등을 포함할 수 있다.

<38> 상기 수소함유 가스로서 수소 리치 불화카본의 첨가는 또한 공정 윈도우(window)를 넓히는 것을 도우며 따라서 상기 기판 전반에 걸쳐서 식각률 미세로딩 및 식각률 균일성을 개선하는 것이 발견되었다. 도 5a에 도시된 바와 같이, CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 가스가 CF<sub>4</sub> 계열의 플라즈마에 첨가될 때, 식각률 미세로딩이 빠르게 감소하며, 이는 훨씬 더 넓은 공정 윈도우를 나타낸다. 상기 개선된 공정 윈도우는 또한, CF<sub>4</sub>/N<sub>2</sub>/CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 공정 가스가 사용될 때 300 mm 기판 전반에 걸친 전면(blanket) 저유전층의 식각 균일성을 설명하는 도 5b에 도시된 바와 같이, 수소 리치 불화탄소 가스의 첨가에 따른 양호한 식각 균일성에 의해 명백해진다. 또한, 도 5a에 도시된 바와 같이, CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 가스를 첨가함에 따라, 상기 식각률은 빠르게 증가하며 포토레지스트 마스크와 관련하여 식각 선택비가 상당히 개선된다. 상기 식각률은, CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub> 유량비가 0.5를 초과하여 더 증가할 때, 떨어지기 시작한다. 그러므로, 특정한 적용에 따라 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub> 유량비에 대한 최적 범위가 존재할 수 있다.

<39> 상기 공정가스에 첨가된 비활성 가스는 식각된 피쳐 프로파일을 제어하는 것을 돕는다. 이는 식각 플라즈마 내의 비활성 이온들이 식각된 피쳐(101)의 바닥면(106)에 주로 충돌하여 그곳에서 화학반응들을 활성화시키는 반면에 상기 피쳐의 측벽들(105)은 영향을 적게 받기 때문인 것으로 사료된다. 상기 비활성 이온들은 또한 상기 피쳐 면들에서 식각 산물들을 스퍼터링함으로써 식각 산물이 증착되는 것을 감소시킨다. 적합한 비활성 가스들은 아르곤, 헬륨, 네온, 크세논 및 크립톤을 포함하며, 이들 중 아르곤이 더 자주 선호된다.

<40> 탄소-산소 가스의 첨가는, 종종 탄화실리콘(silicon carbide)을 포함하는 장벽/라이너 층(barrier/liner layer)에 대한 식각선택비를 개선한다. 적합한 탄소-산소 가스는 CO 이다.

<41> 공정 가스 내 식각 가스의 부피 유량(volumetric flow rate)은, 식각 공정을 수행하기 위해 사용되는 반응기의 배열, 기판 크기, 및 공정 가스에 사용되는 특정한 가스들을 포함하는 많은 요인들에 의존한다. 공정 가스 내 다양한 가스들의 부피 유량비들은 또한, 본 발명의 범위를 벗어나지 않으면서, 물질들의 다양한 조합들을 위해 그리고 특정 식각 선택비들, 식각률들 또는 피쳐 형상을 달성하기 위해 조절될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 공정 가스가 불화탄소 가스로서 CF<sub>4</sub>를, 질소함유 가스로서 N<sub>2</sub>를 그리고 수소-리치 수소화불화탄소 가스로서 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>를 포함할 때, N<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub>의 유량비는 약 1:4 내지 2:1 이고, CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>:CF<sub>4</sub>의 유량비는 약 1:3 내지 1:1 및 더욱 빈번하게는 약 1:3 내지 1:2이다. 비활성 가스의 상대적으로 높은 부피 유량은 최적 프로파일을 달성한다. 본 발명의 일 실시예에서, 상기 공정 가스가 비활성 가스로서 아르곤을 포함할 때, 아르곤 대 불화탄소 가스의 유량비는 약 20:1 내지 50:1이다.

<42> < 구체예들(examples) >

<43> 아래 구체예들은 기판(150) 상의 저유전층(120)을 식각하기 위한 본 발명의 사용을 설명한다. 기판(150)의 일례는 직경 200 mm(8 인치) 또는 300 mm(12 인치)의 실리콘 웨이퍼이다. 도 1에 도시된 바와 같이, 웨이퍼(150)는 수백 Å의 두께를 갖는 장벽/라이너 층(130), 약 0.4-1.5 마이크론의 두께를 갖는 저유전층(120), 및 식각될 피쳐(101)와 같은 피쳐들을 한정하도록 패터닝된 약 1930 Å의 마스크층으로 성공적으로 코팅된다.

<44> 다음 실시예들에서, 상기 마스크층은 포토레지스트, 예컨대 듀폰 드 느무르(duPont de Nemours) 화학 회사에서 제조된 "리스톤(RISTON)"이다. 상기 저유전층은 탄소 도우핑된 유전체들, 예컨대 CH<sub>3</sub> 도우핑된 유기-실리케이트 글래스(organo-silicate glass; OSG), 유기 폴리머들(예컨대, 벤조사이클로부텐(benzocyclobutene), 폴리 테트라플루오르 에틸렌(polytetrafluoroethylene), 폴리에테르(polyether), 폴리이미드(polyimide)) 또는 기타 탄소 계열의 도판트(예컨대, CH<sub>3</sub>)로 도우핑된 것을 포함한다. 상기 OSG는 도핑된 이산화실리콘으로 언급되는 데, 그 예들이 블랙 다이아몬드 I(Black Diamond™ I) 및 블랙 다이아몬드 II(Black Diamond™ II)이면, 상기 블랙 다이아몬드 II는 상기 블랙 다이아몬드 I 보다 많은 탄소 함량을 갖는 블랙 다이아몬드 I의 개선된 버전이다. 블랙 다이아몬드 I 및 블랙 다이아몬드 II는 모두 미국 캘리포니아주 산타클라라의 어플라이드 머티어리얼즈(Applied Materials)로 부터 입수가 가능하다. OSG의 다른 예들로, 미국 캘리포니아 산호세의 노벨러스로부터 입수 가능한 코랄(Coral™) 및 미국 캘리포니아주 산타클라라의 스미토모 화학 미국 주식회사(Sumitomo Chemical America, Inc.)로 부터 입수가 가능한 수미카 필름(Sumika Film™)이 있다. 블랙 다이아몬드 I의 경우, 상기 OSG 층은, 야유 등(Yau et al.)에 의해 미국 특허 제 6,054,379호 및 제 6,072,227호에 개시된 바와 같이, 메틸 실

란(methyl silane)을 산화시킴으로써 화학기상증착법을 사용하여 형성된다. 여기서 메틸기들의 수 및 관련된 물질들은 모노실란(monosilane)에 대해 1에서 4까지 다양하다.

- <45> 상기 장벽/라이너 층은 블록(BLOK™; barrier low-k)막인데, 이는 화학기상증착(CVD) 또는 2001년 9월 11일에 등록된 미국특허번호 제6,287,990 B1 및 2001년 10월 16일에 등록된 미국특허번호 제6,303,523 B2에 개시된 플라즈마 강화 CVD 공정을 사용하여 형성된 탄화실리콘이다. 상기 미국특허들은 여기서 참조문헌으로 포함된다. 상기 BLOK™막들은 BLOK™ I 및 BLOK™ I의 개선된 버전인 BLOK™ II를 포함하며, 둘 모두 미국 캘리포니아주 산타 클라라의 어플라이드 머티어리얼즈(Applied Materials)로부터 입수가 가능하다. 다른 다양한 물질층들이 상기 장벽/라이너 층 하부에 위치할 수 있으나, 본 발명의 실시예에 영향을 미치지 않아야 한다.
- <46> 얇은(600Å) 반사방지 코팅(antireflective coating; ARC) 또는 하부 반사방지 코팅(bottom antireflective coating; BARC) 층(도시하지 않음) 및 하드마스크 층이 마스크층(310)과 OSG층(320) 사이에 위치할 수 있다. 상기 ARC(또는 BARC 층)는 전형적으로, 최소 피처 크기들이 1/4 마이크론 이하일 때, 사진 공정(photolithography) 동안 선/폭 제어를 위해 사용된다. 종래의 ARC(또는 BARC) 개방 공정이 상기 저유전층을 식각하기 전 피처 개구부들에서 상기 ARC(또는 BARC 층)을 제거하기 위해 수행될 수 있다. 상기 하드마스크 층은 전형적으로 이산화실리콘과 같은 종래의 유전물질로 형성되며, 듀얼 다마신 구조체들의 다마신을 생성하기 위해 수반되는 CMP 공정 동안 정지층으로써 사용된다. 종래의 하드마스크 식각 공정이 상기 저유전층을 식각하기 전 상기 피처 개구부들에서 상기 하드마스크 층의 부분들을 제거하기 위해 사용될 수 있다.
- <47> 도 6은, 본 발명의 두 개의 대표적인 실시예들에 따라, 도 2에 도시된 반응기(200) 또는 도 3에 도시된 반응기(300)에서 유전층(120)을 식각하기 위한 공정 순서(600)를 설명하는 공정 흐름도이다. 순서(600)는 선택사양의 단계(602)를 포함하며, 이 단계에서 자석들(270)이 턴온되어 공정 챔버(210 또는 301) 내의 상기 웨이퍼 기판 상부에 자기장을 생성한다. 순서(600)는 단계(604)를 더 포함하면, 이 단계에서 웨이퍼 온도(또는 음극 온도)가 예컨대 헬륨(He)과 같은 후면(backside) 가스의 흐름을 제어함으로써 미리 정해진 값에 설정되고 유지된다.
- <48> 상기 웨이퍼 온도는 대부분의 식각 산물들을 휘발시킬 만큼 충분히 높게, 그리고 보호 증착층 및 식각 산물 증착물들이 새로이 식각된 피처(101)의 측벽들(105)에 보유되도록 충분히 낮게 유지된다. 챔버 벽(212 또는 305)은 또한, 챔버 벽 온도를 유지하기 위해 필요한 종래의 냉각 또는 가열 기구를 사용하여, 제어된 온도 레벨, 예컨대 약 15°C에 유지된다.
- <49> 순서(600)는 단계(606)를 더 포함하며, 이 단계에서 상기 공정 가스가 가스 분산 플레이트(264 또는 360)을 통해 공정 챔버(210 또는 301)에 공급된다. 순서(600)는 단계(608)를 더 포함하며, 이 단계에서 적어도 하나의 공정 파라미터, 예컨대 하나 또는 그 이상의 가스 성분들의 유량, 또는 트로틀 밸브(225 또는 325) 각각을 조절함으로써, 공정 챔버(210 또는 301) 내 상기 공정 가스의 압력이 조정된다.
- <50> 반응기(300)가 사용될 때, 순서(600)는 단계(610)를 더 포함하며, 이 단계에서 VHF 소오스(370)에서 상부전극(360)으로 파워를 인가함으로써 VHF 소오스 파워(370)가 VHF 소오스(370)에서 상부전극(360)으로 파워를 인가함으로써 공정 챔버(301) 내의 상기 공정 가스를 점화하여 플라즈마를 형성한다. 그 후 또는 상기 플라즈마를 점화하는 것과 거의 동시에, 공정 순서(600) 내의 단계(612)에서, RF 바이어스 파워(350)이 턴온되어 상기 웨이퍼 지지 페데스탈을 전기적으로 바이어스시킨다. 반응기(200)가 사용될 때, 단계(610) 및 단계(612)는 공정 챔버(210) 내의 상기 공정 가스를 점화할 뿐만 아니라 상기 웨이퍼 지지 페데스탈을 바이어스시키는 RF 파워(250)를 턴온함으로써 모두 수행된다.
- <51> 공정 순서(600)는 단계(614)를 더 포함하며, 이 단계에서 플라즈마(152)를 사용하여 유전층(120)을 식각하여 유전층(120) 내에 피처(101)를 포함하는 복수개의 피처들을 형성한다. 본 발명의 일 실시예에서, 단계(614)는, BLOK™ 층에 대해 약 10:1 또는 그 이상의 식각선택비 및 포토레지스트 마스크에 대해 약 5:1 또는 그 이상의 식각선택비를 가지고 블랙 다이아몬드(Black Diamond™)를 식각한다. 단계(614)는 미리 정해진 시간 동안 계속되거나, 상기 플라즈마의 방출들을 모니터링함으로써 복수개의 피처들 내 바닥면들, 예컨대 피처(101)의 면(106)이 식각 정지층(130)의 상부(top)에 도달했는지를 결정하는 종래의 광학 종료점 측정 기술을 사용하여 종료된다. 그 후, 공정 순서(600) 내의 단계(616)에서, VHF 소오스 파워(370) 및/또는 바이어스 소오스(250 또는 350)를 턴오프함으로써 상기 플라즈마가 턴오프된다. 자석들(270) 또한 턴오프될 수 있으며, 공정 가스 공급이 중단된다. 그 후, 상기 웨이퍼는 척킹이 해제되고, 공정 챔버(210 또는 301)에서 제거된다.
- <52> 순서(600)의 앞선 단계들은 연속적으로 수행될 필요가 없으며, 예컨대 단계들의 몇 개 또는 모두가 동시에 또는

다른 순서로 수행될 수 있다. 본 발명의 일 실시예에서, 순서(600)는 도 2에 도시된 제어기(280) 또는 도 3에 도시된 제어기(380)에 의해 각각 메모리(284 또는 384)에 저장된 프로그램 지시들에 따라 수행된다. 택일적으로, 순서(600) 내의 상기 단계들의 몇 개 또는 모두는 주문형 반도체(application-specific integrated circuit; ASIC)와 같은 하드웨어 또는 다른 형의 하드웨어 구현체 내에서, 또는 소프트웨어 또는 하드웨어의 조합체 내에서 수행될 수 있다.

<53> 표 1 및 표 2에 최소 및 최대 값들, 그리고 도 3에 도시된 식각 반응기(300)를 사용하여 300 mm 웨이퍼 상의 저 유전층(320)을 식각하기 위해 사용되는 몇 개의 공정 파라미터들의 대표적인 값들이 요약되어 있다.

표 1

<54>

공정 파라미터들		최소	최대	대표 값
공정 가스 유량(sccm)	CF <sub>4</sub>	2	200	20
	N <sub>2</sub>	4	400	40
	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4	400	40
	Ar	500	-	2000
소오스 파워(W)		100	300	200
바이어스 파워(W)		1500	2500	2000
챔버 압력(mTorr)		60	150	100
웨이퍼 페데스탈 온도(°C)		0	30	20

표 2

<55>

공정 파라미터들		최소	최대	대표 값
공정 가스 유량(sccm)	CF <sub>4</sub>	50	80	65
	N <sub>2</sub>	50	200	170
	Ar	100	1500	500
	CO	0	300	2000
소오스 파워(W)		0	1000	300
바이어스 파워(W)		1000	3000	2800
챔버 압력(mTorr)		10	150	30
음극 온도(°C)		-20	40	-10

<56> 표 3 및 표 4에 반응기(200)에서 300 mm 웨이퍼 상의 유전층(320)을 식각하기 위한 몇개의 대표적인 공정들에 사용되는 몇몇 공정 파라미터들, 예컨대 RF 파워, 압력, 공정 가스 조성 및 유량 등이 정리되어 있다.

표 3

<57>

	공정 가스 유량(sccm)				압력 (mT)	RF (W)	음극 온도
	CF <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>			
예 1	40	20	2000	20	100	2000	15°C
예 2	60	60	2000	30	100	2000	15°C
예 3	60	60	2000	30	100	2000	30°C

표 4

<58>

	공정 가스 유량(sccm)				압력 (mT)	RF (W)	기관 온도
	CF <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	CH <sub>3</sub> F			
예 4	40	40	2000	15	100	2000	15°C

<59> 식각된 시험 웨이퍼들의 주사전자 현미경(SEM) 사진들이 상기 식각률, 포토레지스트에 대한 식각선택비, 및 식각률 미세로딩을 측정하기 위해 사용되었다. 표 5에 표 3 및 표 4에 정리된 대표적인 공정 파라미터들에 따른 몇몇 측정 결과들이 정리되어 있다. 표 5에 나타난 바와 같이, 본 발명의 대표적인 실시예들은 약 4000 Å/min 보다 큰 저유전체 식각율 및 포토레지스트에 대해 약 6:1 보다 큰 식각선택비를 제공한다.

**표 5**

<60>	식각률(Å/min)		PR 선택비	미세로딩 (%)
	작은 피처들에서	개방 공간들에서		
예 1	3900	4300	> 6:1	9.3
예 2	4800	5300	> 7:1	11
예 3	5500	6100	7:1	10
예 4	측정안함	측정안함	> 8:1	측정안함

<61> 상기 실제 공정 파라미터들, 예컨대 RF 파워, 압력, 가스 유량 등이 웨이퍼의 크기, 챔버의 크기 및 본 발명을 실시하기 위해 사용되는 반응기의 다른 하드웨어 배열들에 의존하기 때문에, 본 발명은 여기서 인용된 공정 파라미터들 또는 범위들에 한정되지 않는다.

<62> 본 발명이 몇몇 특정 실시예들을 참조하여 설명되었지만, 상기 설명은 본 발명에 대해 예시적이며, 본 발명을 제한하는 것으로 해석되지 않는다. 뒤의 청구항들에 의해 정의된 본 발명의 실제 사상 및 범위를 벗어나지 않으면서 다양한 변형들이 당업자에게 가능하다.

**발명의 효과**

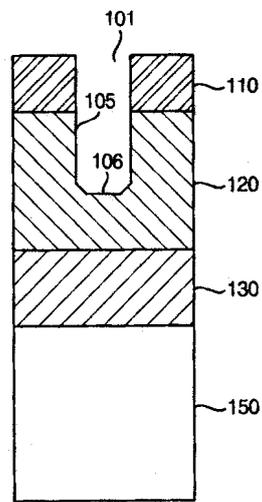
<63> 본 발명의 실시예들에 따르면, 인접층들에 대해 개선된 식각선택비를 가지고 저유전층을 식각할 수 있으며 종래의 저유전체 식각 공정들과 비교하여 완화된 미세로딩을 가지고 저유전층을 식각할 수 있는 공정을 제공한다.

**도면의 간단한 설명**

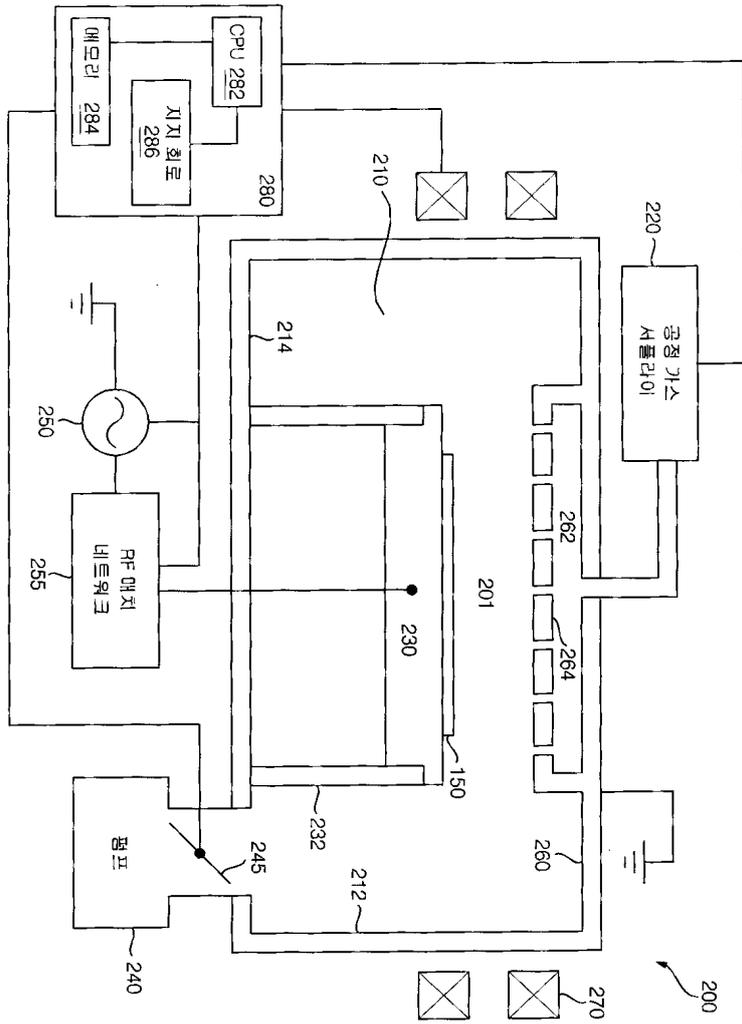
- <1> 도 1은 식각공정 중 유전층 내의 트렌치(trench) 또는 비아(via)의 수직단면 개략도이다.
- <2> 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 저유전체 식각 공정을 수행하기 위해 사용되는 플라즈마 반응기의 수직단면 개략도이다.
- <3> 도 3은 본 발명의 선택적인 실시예에 따른 저유전체 식각 공정을 수행하기 위해 사용되는 플라즈마 반응기의 수직단면 개략도이다.
- <4> 도 4a는 불화탄소 계열의 플라즈마에 첨가된 다양한 첨가가스들에 따른 저유전체 식각률의 변화를 보여주는 차트이다.
- <5> 도 4b는 불화탄소/수소화불화탄소 혼합 계열의 플라즈마에 첨가된 다양한 첨가가스들에 따른 저유전체 식각률의 변화를 보여주는 차트이다.
- <6> 도 5a는 본 발명의 일 실시예에 따른 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>/CF<sub>4</sub> 유량비 변화에 대응하여 저유전체 식각률, 포토레지스트에 대한 식각선택비 및 미세로딩(microloading)의 변화 경향을 보여주는 차트이다.
- <7> 도 5b는 본 발명의 일 실시예에 따른, 300 mm 기판의 전반에 걸친 저유전체 식각률 균일성을 보여주는 차트이다.
- <8> 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 저유전 물질을 식각하기 위한 공정 순서를 설명하는 공정흐름도이다.

도면

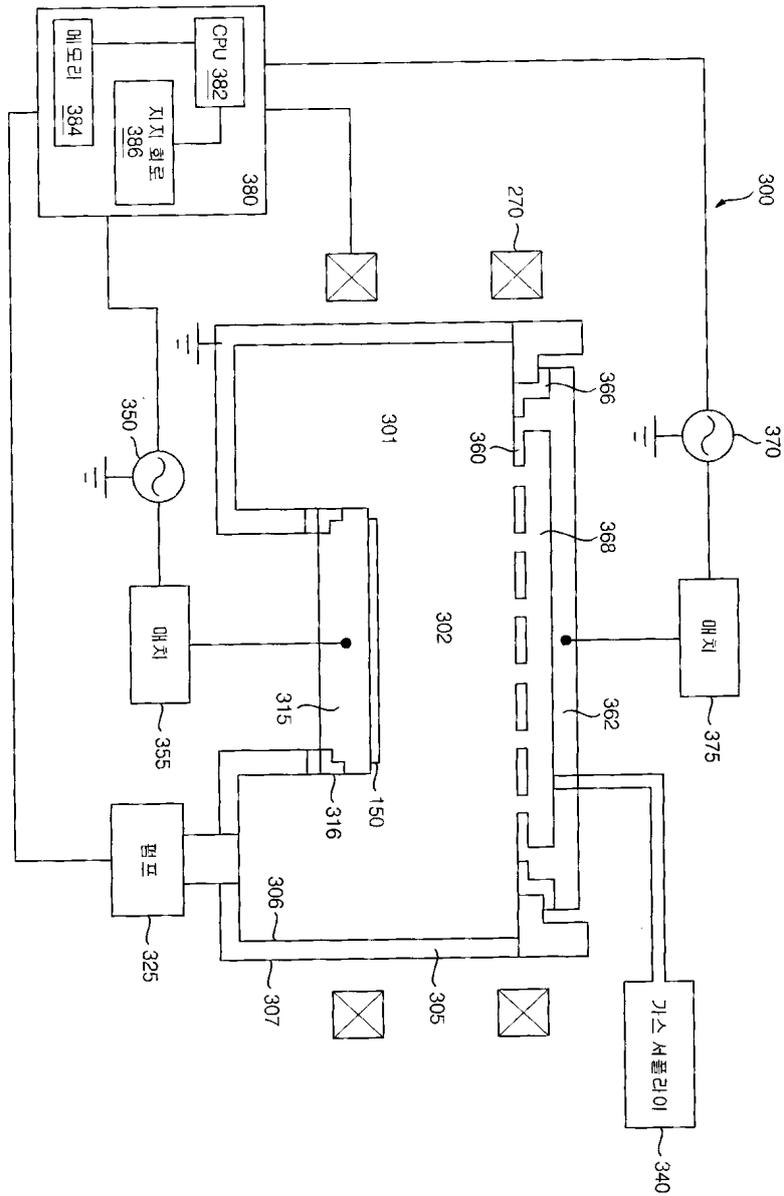
도면1



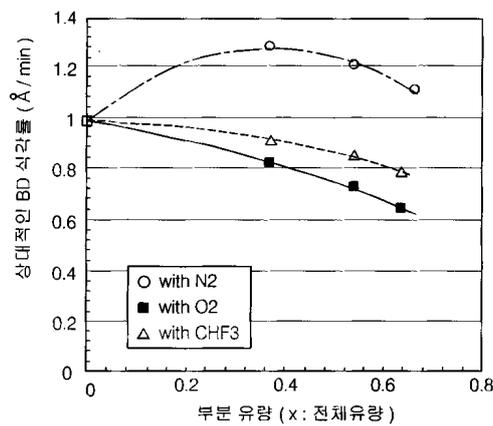
도면2



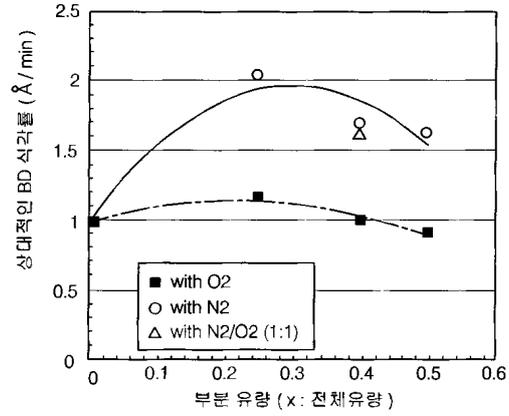
도면3



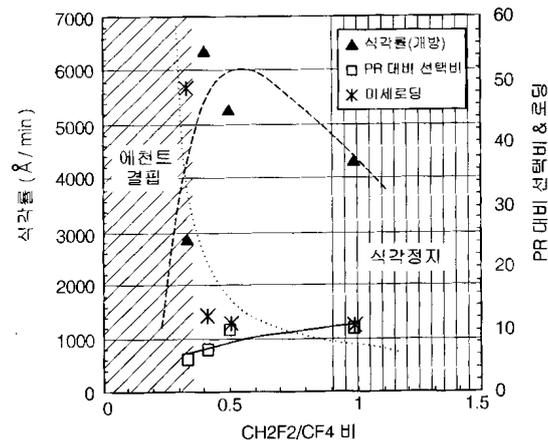
도면4a



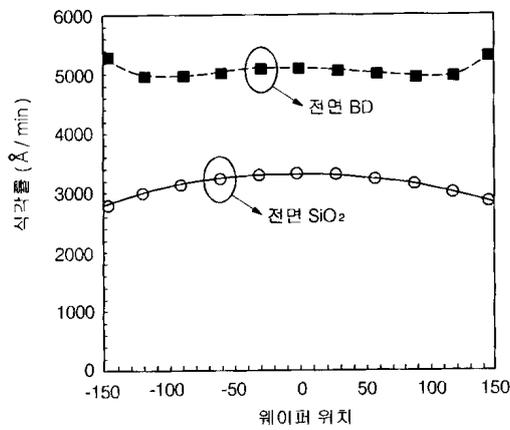
도면4b



도면5a



도면5b



도면6

