

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> (11) 공개번호 10-2005-0085838  
H01L 21/318 (43) 공개일자 2005년08월29일

(21) 출원번호 10-2005-7011586  
(22) 출원일자 2005년06월20일  
    번역문 제출일자 2005년06월20일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2003/040586 (87) 국제공개번호 WO 2004/059707  
    국제출원일자 2003년12월18일 국제공개일자 2004년07월15일

(30) 우선권주장 10/327,467 2002년12월20일 미국(US)

(71) 출원인 어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드  
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애브뉴 3050

(72) 발명자 왕, 슈린  
미국 95008 캘리포니아 캠벨 스테인웨이 애브뉴 959  
산체스, 에를, 안토니오, 씨.  
미국 94658 캘리포니아 더블린 길포드 코트 5291  
첸, 아이후아  
미국 95121 캘리포니아 샌어제이 퀘일 블러프 플레이스 2278

(74) 대리인 남상선

심사청구 : 없음

(54) 고품질 저온 실리콘질화물막 형성 방법 및 장치

요약

실리콘질화물막 형성방법이 개시된다. 본 발명에 따라, 실리콘질화물막은 실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 낮은 증착 온도에서(예를 들어 550°C 미만) 열적으로 분해시킴으로써 증착된다. 열적으로 분해된 실리콘질화물막은 수소 라디칼로 처리되어 처리된 실리콘질화물막을 형성한다.

대표도

도 4

명세서

기술분야

본 발명은 박막 형성 특히 낮은 증착 온도 및 높은 증착 속도로 실리콘질화물막을 형성하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

현대의 집적회로는 기능회로 속에 집적되는 백만 및 수백만의 트랜지스터로 구성된다. 집적회로의 계산 능력 또는 저장 능력을 보다 증가시키기 위해서, 게이트 길이 및 게이트 산화물 두께와 같은 트랜지스터 피쳐 크기는 보다 축소되어야 한다. 불행히도, 트랜지스터 게이트 길이가 지속적으로 감소됨에 따라, 트랜지스터의 전기적 특성 및 성능은 디바이스에서 도펀트의 열적 재분포로 인해 크게 변형될 수 있다. 이처럼, 디바이스가 점점 축소됨에 따라, 집적회로 제조에 사용되는 열적 예산(budget) 또한 디바이스의 일관성있고 신뢰성있는 전기적 성능을 보증하기 위해 감소되어야 한다. 즉, 디바이스 치수 감소가 지속됨에 따라, 집적회로 박막을 형성하는데 사용되는 증착 및 프로세스 온도 또한 감소되어야 한다. 65나노미터 및 그 이하의 기술에 따른 트랜지스터 치수를 갖는 집적회로 제조는 고품질 박막을 요구할 것으로 예상되며 이는 550°C 이하의 증착온도에서 증착될 수 있다.

부가적으로, 반도체 디바이스의 추가적인 축소를 위해, 디바이스를 제조하는데 사용되는 박막은 높은 조성(compositional) 및 두께 균일성으로 형성될 수 있어야 한다. 극도로 균일한 두께 및 조성을 갖는 막을 형성하기 위해 상기 막은 일반적으로 단일 웨이퍼 증착 반응기에서 형성될 필요가 있다. 단일 웨이퍼 반응기에서 박막을 형성하기 위해 시간에 따른 증착 속도로 제조가능한 양은 분당 적어도 50Å 이어야 한다.

열적 화학적 기상증착(CVD)에 의해 증착된 실리콘질화물 박막은 반도체 제조 프로세스 전반에 사용된다. 예를 들어, CVD 실리콘질화물막은 스페이서막, 에칭 스톱 및 캐패시터 및 인터폴리 유전체로서 사용된다. 불행히도, 열적 화학적 기상증착을 이용하는 단일 웨이퍼 반응기에서 고품질 실리콘질화물막을 형성하는 현재의 기술은 750°C 이상의 높은 증착 온도 요구 및/또는 보다 낮은 온도에서 낮은 증착 속도 갖는다. 대부분의 실리콘질화물 증착 프로세스에서, 증착 온도가 550°C 미만으로 감소되는 경우, 증착 속도는 크게 감소되어 제로가 될 수 있다. 부가적으로, 실리콘질화물막이 낮은 온도 또는 높은 증착 속도로 증착되는 경우, 일반적으로 막 품질은 좋지않다.

따라서, 분당 50Å 이상의 제조가능한 증착 속도 및 낮은 550°C 이하의 낮은 증착 온도에서 열적 화학적 기상 증착(CVD)에 의해 고품질 실리콘질화물막을 형성하는 방법이 요구된다.

### 발명의 상세한 설명

실리콘질화물막 형성 방법이 개시된다. 본 발명에 따라, 실리콘질화물막은 실리콘질화물막을 형성하기 위해 실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 낮은 증착 온도에서 열적으로 분해시킴으로써 증착된다. 열적으로 증착된 실리콘질화물막은 수소 라디칼로 처리되어 처리된 실리콘질화물막이 형성된다.

### 도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명에 따라 실리콘질화물막을 형성하는 방법을 나타내는 흐름도.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 실리콘질화물막을 형성하는 방법을 나타내는 흐름도.

도 3a-3c는 본 발명에 따라 실리콘질화물막으로 형성된 측벽 스페이서를 갖는 반도체 디바이스를 형성하는 방법의 개략적 단면도.

도 4는 본 발명에 따라 실리콘질화물막을 형성하는데 사용될 수 있는 장치의 개략적 단면도.

도 5는 본 발명에 따라 실리콘질화물막을 형성하는데 사용될 수 있는 클러스터 툴을 나타내는 도면.

### 실시예

본 발명은 낮은 증착 온도에서 형성될 수 있는 고품질 실리콘질화물막을 형성에 관한 것이다. 하기의 증착 및 어닐링 장비와 같은 다수의 특정 설명은 본 발명의 이해를 위해 제공된다. 그러나 당업자는 이들 특정 설명 없이도 본 발명을 구현할 수 있다는 것을 알 것이다. 다른 경우로 공지된 반도체 프로세스는 본 발명의 명료성을 위해 특별히 설명하지 않지 않는다.

550°C 미만의 낮은 증착 온도에서 열적 화학적 기상 증착(CVD)에 의해 고품질 실리콘질화물막을 형성하는 새로운 방법 및 장치가 제공된다. 실리콘질화물막을 증착하는 방법의 예가 도 1의 순서도에 도시된다. 도 1의 블록(102)에서 시작하여 본 발명의 제 1단계에 따라, 실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 포함하는 처리 가스 혼합물이 약 550°C 이하 및 바람직하게는 500°C 미만의 증착 온도(기판 온도)에서 챔버내에서 열적으로 분해되

어 증착된 실리콘질화물막으로부터 실리콘 중 및 질소 중을 형성한다. 소스 가스 또는 가스들은 550°C 이하의 낮은 증착 온도(즉, 기판 또는 웨이퍼 온도)에서 분당 적어도 50Å 및 바람직하게는 분당 적어도 100Å의 증착 속도로 열적 화학적 기상 증착에 의해 실리콘질화물막이 형성되도록 선택된다.

낮은 증착 온도 및 충분히 높은 증착 속도에서 열적 화학적 기상 증착에 의해 실리콘질화물막을 형성하는데 사용되는 실리콘 함유 소스 또는 실리콘/질소 함유 소스 가스는, 예를 들어, 헥사클로로디실란(HCD 또는  $\text{Si}_2\text{Cl}_6$ ) 및 1,2-디에틸-테트라키스(디에틸아미노) 디실란, 1,2-디클로로-테트라키스(디에틸아미노) 디실란, 헥사키스(N-피롤리디노) 디실란과 같은 유기 실리콘 함유 가스 및 다른 염소화 또는 비-염소화 알킬-아미노- 디 또는 모노-실란( $\text{R}_2\text{N-Si}(\text{R}'_2)\text{-Si}_x(\text{R}'_2)_y\text{-NR}_2$ ( $x=y=0$  또는 1;  $\text{R}, \text{R}'=\text{Cl}$ , 또는 메틸, 또는 에틸, 또는 이소-프로필, 또는 다른 알킬 그룹, 또는 또다른 알킬아미노 그룹, 또는 N 함유 고리형 그룹, 또는 시릴(silyl) 그룹)을 포함한다.

본 발명에 따라 낮은 온도에서 실리콘질화물막을 형성하는데 사용되는 실리콘 소스 가스(전구체) 또는 실리콘/질소 소스 가스(전구체)는 낮은 증착 온도에서 분자가 쉽게 분해될 수 있도록 약한 실리콘 대 실리콘 단일 결합(즉, Si-Si 단일 결합)을 갖는다. 또한, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질화물 소스 가스는 바람직하게 약한 단일 결합을 갖는 실리콘 원자 각각에 결합되는 염소(Cl) 원자 및/또는 질소(N) 원자를 갖는다. 즉, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 바람직하게 Si-Cl 작용기 및/또는 Si-N 작용기를 가져 약한 Si-Si 단일 결합을 유지한다. 이는 적절한 증착 속도에서 온도가 감소되어도 스텝 커버리지 및 마이크로로딩을 개선시키는데 있어 중요하다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 약한 실리콘 대 실리콘 단일 결합을 가지며, 각각의 실리콘 원자의 다른 세계의 결합은 질소(N) 원자 또는 염소(Cl) 원자중 하나 그리고 이상적으로 질소 원자 및 염소 원자에 결합된다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 유기 그룹을 포함하며, 상기 유기 그룹은 다른 실리콘 원자와 단일 결합을 갖는 실리콘 원자에 결합되는 질소 원자에 바람직하게 결합된다. 대안적으로, 유기 그룹은 다른 실리콘 원자와 약한 단일 결합을 갖는 실리콘 원자에 직접 결합될 수 있다. 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 바람직하게 대칭형 분자이다.

질소 소스 가스 또는 본 발명에 따라 낮은 온도에서 실리콘 및 질소 함유막을 증착하는데 사용될 수 있는 전구체는 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 또는  $\text{N}_2\text{H}_4$ 이나 제한되지는 않는다. 바람직하게 질소 소스 가스는 약한 질소-질소 단일 결합(즉, N-N 단일 결합)을 함유하여 낮은 온도에서 질소 소스 가스의 분해가 쉽다. 또한, 실리콘/질소 함유 소스 가스가 처리 가스 혼합물에 사용되는 경우, 전형적으로 막을 증착하는 동안 증착된 막의 조성에 대해 플렉시블한 제어를 위해 소정량의 질소 소스 가스가 가스 혼합물에 포함된다.

실리콘질화물막이 낮은 온도 및 높은 증착 속도로 증착되기 때문에, 전형적으로 실리콘질화물막은 초기에 막 품질이 나쁘다. 즉, 초기의 "에즈 증착된" 실리콘질화물막은 예를 들어, 상당 분률의 Si-H 형태의 전체 높은 수소 농도(예를 들어, 15 원자 퍼센트 이상), 유기 실리콘 전구체가 사용되는 경우는 높은 탄소 농도(예를 들어, 10원자 퍼센트 이상), 염소화된 실리콘 전구체가 사용되는 경우는 높은 염소 농도(예를 들어, 1 원자 퍼센트 이상) 및 낮은 굴절률(예를 들어, 1.85 미만) 및 높은 습식 에칭 속도(예를 들어, 완충 산화물 에칭(BOE)과 같은 산화물 에칭을 이용하는 실리콘 산화물 에칭 속도의 2배 이상)를 가질 수 있다.

도 1의 블록(104)에서 시작하여 에즈 증착된 실리콘질화물막의 품질을 개선시키기 위해, 상기 막은 예정된 시간 주기 동안 수소 라디칼로 처리되어 품질이 개선된다(예를 들어, 10원자 퍼센트 미만으로 전체 수소 농도를 감소시키거나 또는 Si-H 형태의 분률을 감소시키거나 또는 5원자 퍼센트 미만으로 탄소 농도를 감소시키거나 1 원자 퍼센트 미만으로 염소 농도를 감소시키거나 1.90 이상으로 굴절률을 증가시키거나, 또는 BOE와 같은 산화물 에칭을 이용하는 실리콘 산화물 에칭 속도와 거의 동일하게(1:1) 습식 에칭 속도를 낮춘다). 수소 라디칼은 예를 들어, 플라즈마 분해(인슈트로 또는 원격적으로) 또는 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 및 수소( $\text{H}_2$ )와 같은 수소 함유 가스의 "핫와이어(hotwire)" 분해에 의해 형성될 수 있다. 에즈 증착된

실리콘질화물막은  $5 \times 10^{15}$  원자/ $\text{cm}^2$  -  $1 \times 10^{17}$  원자/ $\text{cm}^2$  사이의 플럭스에서 수소 라디칼로 처리될 수 있다. 수소 라디칼 처리 동안 기판은 450-600°C의 낮은 온도로 가열된다. 전형적으로 15-120초내에서 충분한 처리가 이루어질 수 있다. 본 발명의 프로세스는 낮은 온도 및 제조가능한 높은 증착 속도(예를 들어, 50Å/분)로 열적 화학적 기상 증착에 의해 고품질의 실리콘질화물막 형성을 가능케한다. 낮은 증착 온도는 실리콘질화물막이 트랜지스터 또는 액티브 디바이스 형성 이후 어플리케이션 또는 로케이션시에 반도체 회로 제조 프로세스에서 사용될 수 있게 하며, 이는 증착 온도가 디바이스의 열적 예산에 큰 영향을 미치거나 내부 도펀트 분포를 변경시키지 않기 때문이다. 실리콘질화물막의 높은 증착 속도는 프로세스가 단일 웨이퍼 반응기에서 수행될 수 있게 한다.

본 발명의 실시예에 따라 단일 웨이퍼 반응기에서 실리콘질화물막을 증착 및 처리하는 방법의 예는 도 2의 흐름도(200)에 도시된다. 제 1단계는 열적 화학적 기상 증착에 의해 웨이퍼 또는 기판상에 실리콘질화물막을 증착하는 것이다. 실리콘

질화물 증착 프로세스의 특징에는 순서도(200)의 블록(201)으로 도 2에서 시작되며 순서도(200)의 단계(202-210)를 포함한다. 실리콘질화물막을 증착하는 제 1단계는 챔버속에 웨이퍼 또는 기판을 위치시키는 것이다. 바람직하게 실리콘질화물막은 어플라이드 머티어리얼스사의 Xgen 챔버와 같이, 웨이퍼를 가열하는 저항성 가열 기관 지지체를 갖는 감압 단일 웨이퍼 콜드벽의 챔버에서 형성된다. 적절한 챔버의 예는 도 4에 도시된다.

일단 기관이 챔버속에 위치되면, 실리콘질화물막을 증착하는데 사용되는 증착 압력 및 온도가 달성된다. 본 발명의 일실시예에서 실리콘질화물막의 증착이 달성되는 증착 압력은 약 10 torr 내지 약 350 torr 사이이다. 증착 온도(즉, 웨이퍼와 기관 $^{\circ}$ C의 온도)는 실리콘질화물막을 증착하는데 사용되는 특정 처리 가스(예를 들어, 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스)에 따라 좌우된다. 웨이퍼 또는 기관의 온도는 550 $^{\circ}$ C 이하 바람직하게는 500 $^{\circ}$ C 미만이며, 일반적으로는 증착 프로세스 동안 약 450 $^{\circ}$ C 내지 약 550 $^{\circ}$ C 사이이다. 다음 블록(206)에서 시작하여, 처리 가스가 증착 챔버속에 주입된다. 처리 가스 혼합물은 본 명세서에서 설명된 것처럼 적어도 실리콘 함유 소스 가스(즉, 실리콘질화물막의 증착을 위해 실리콘 원자 또는 실리콘 함유 중간 종을 제공하도록 분해될 수 있는 가스) 및 질소 함유 소스 가스(즉, 실리콘질화물막의 증착을 위해 질소 원자 또는 질소 함유 종의 소스를 제공하도록 열적으로 분해될 수 있는 가스)를 포함한다. 선택적으로, 처리 가스 혼합물은 실리콘질화물막의 형성을 위해 단일 분자의 질소와 실리콘 원자 소스 또는 질소 및 실리콘 보유 중간 종을 제공하는 실리콘/질소 소스 가스를 포함할 수 있다. 실리콘/질소 소스 가스가 사용되는 경우, 처리 가스 혼합물은 질소 소스 가스 및/또는 실리콘 소스 가스를 포함하거나 또는 질소 및 실리콘의 부가 가스 없이 실리콘/질소 소스 가스만을 포함할 수 있다.

질소 함유 소스 가스는 암모니아( $\text{NH}_3$ ) 및 히드라진( $\text{H}_2\text{H}_4$ )을 포함할 수 있으나 이로 제한되지는 않는다. 본 발명의 실시예에서, 질소 소스 가스는 실리콘 소스 가스를 챔버속에 제공하기 이전에 증착 챔버에 제공된다. 부가적으로, 본 발명의 실시예에서, 질소 소스 가스는 약한 질소 대 질소 단일 결합(N-N 단일 결합)을 갖는다.

본 발명에 따라 낮은 온도에서 실리콘질화물막을 형성하는데 사용되는 실리콘 소스 가스(전구체) 또는 실리콘/질소 소스 가스(전구체)는 약한 실리콘 대 실리콘 단일 결합(즉, Si-Si 단일 결합)을 가져 낮은 온도에서 분자가 쉽게 분해될 수 있다. 부가적으로, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 바람직하게 약한 단일 결합을 갖는 각각의 실리콘 원자에 결합된 염소(Cl) 원자 및/또는 질소(N)원자를 갖는다. 즉, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 바람직하게 Si-Cl 작용기 및/또는 Si-N 작용기를 가져 약한 Si-Si 단일 결합을 유지한다. 이는 적절한 증착 속도에서 온도를 감소시키더라도 스텝 커버리지 및 마이크로로딩을 개선시키는데 있어 중요하다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 약한 실리콘 대 실리콘 단일 결합을 가지며, 각각의 실리콘 원자의 다른 세개의 결합은 질소(N) 원자 또는 염소(Cl) 원자중 하나 그리고 이상적으로 질소 원자 및 염소 원자에 결합된다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 유기 그룹을 포함하며, 상기 유기 그룹은 다른 실리콘 원자와 단일 결합을 갖는 실리콘 원자에 결합되는 질소 원자에 바람직하게 결합된다. 대안적으로, 유기 그룹은 다른 실리콘 원자와 약한 단일 결합을 갖는 실리콘 원자에 직접 결합될 수 있다. 실리콘 소스 가스 또는 실리콘/질소 소스 가스는 바람직하게 대칭형 분자이다.

본 발명의 실시예에서, 실리콘 소스 가스는 헥사클로로디실란(HCD)이다. 실리콘질화물막은 챔버속에 HCD 및  $\text{NH}_3$  또는  $\text{N}_2\text{H}_4$ 를 제공함으로써 형성된다. HCD가 이용되는 경우, HCD가 반응 챔버속에 주입되기 이전에,  $\text{N}_2$ 와 같은 불활성 캐리어 가스와 혼합될 수 있다.  $\text{N}_2$ 와 같은 캐리어 가스는 반응하지 않거나 또는 반응의 증착 온도에서 열적으로 분해되지 않아 반응에 참여하지 않는다. 본 발명의 실시예에서, HCD는 10-200sccm의 비율로 반응 챔버속에 제공되는 반면 질소 소스 가스는 500-5000sccm으로 반응 챔버에 제공된다. 일례에서, HCD 소스 가스 및 질소 소스 가스는 각각 1:1 및 1:1000, 바람직하게는 1:1 및 1:500의 유량 비율로 제공된다. 이러한 프로세스는 530 $^{\circ}$ C의 웨이퍼 온도에서는 약 80Å/분의 증착 속도로 480 $^{\circ}$ C의 웨이퍼 온도에서는 약 50Å/분의 증착 속도로 실리콘질화물막을 형성할 수 있다.

본 발명의 실시예에서, 실리콘 함유 소스 가스는 1,2 디에틸-테트라키스(디에틸아미노) 디실란, 1,2-디클로로-테트라키스(디에틸아미노) 디실란, 헥사키스(N-피롤리디노) 디실란과 같은 유기 실리콘 함유 가스 및 다른 염소화 또는 비-염소화 알킬-아미노- 디 또는 모노-실란( $\text{R}_2\text{N}-\text{Si}(\text{R}'_2)-\text{Si}_x(\text{R}'_2)_y-\text{NR}_2$ ( $x=y=0$  또는 1;  $\text{R}, \text{R}'=\text{Cl}$ , 또는 메틸, 또는 에틸, 또는 이소-프로필, 또는 다른 알킬 그룹, 또는 또다른 알킬아미노 그룹, 또는 N 함유 고리형 그룹, 또는 시릴(silyl) 그룹)을 포함한다. 적절한 실리콘질화물막은 10-100sccm의 유량 비율의 1,2 디클로로-테트라키스(디에틸아미노) 실란 및 200-2000sccm 사이의 유량 비율의 질소 소스 가스를 이용하여 형성될 수 있다. 적절한 실리콘질화물막은 10-100sccm의 유량 비율의 1,2 디에틸-테트라키스(디에틸아미노) 디실란 및 200-2000sccm의 유량 비율의 질소 소스 가스로 증착될 수 있다. 이러한 프로세스는 530 $^{\circ}$ C의 웨이퍼 온도에서 약 80Å/분의 증착 속도로 실리콘질화물막을 증착하고 480 $^{\circ}$ C의 웨이퍼 온도에서 약 50Å/분의 증착 속도로 실리콘질화물막을 증착할 수 있다.

다음, 순서도(200)의 블록(208)에서 시작하여, 가열된 기판 또는 기판 지지체로부터의 열은 실리콘 및 질소 소스 가스 또는 실리콘 소스 가스 및 질소 소스 가스가 열적으로 분해되게 한다. 실리콘 소스 가스의 열분해는 실리콘 원자 또는 실리콘 함유 중간 종(intermediate species)을 제공한다. 질소 소스 가스의 열분해는 질소 원자 또는 질소 함유 중간 종을 제공한다. 실리콘/질소 소스 가스의 열분해는 실리콘 원자 또는 실리콘 중간 종 뿐만 아니라 질소 원자 또는 질소 중간 종을 제공한다. 실리콘 원자 또는 실리콘 함유 중간 종은 질소 원자 또는 질소 함유 중간 종과 반응하여 기판 표면 위에 실리콘질화물막을 증착시킨다. 본 발명에서, 실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 소스 가스 및 질소 소스 가스는 광자(photon) 강화 또는 플라즈마 강화와 같이, 부가적인 에너지 소스의 보조 없이 기판 또는 기판 지지체로부터의 열과 같은 열 에너지만을 이용하여 열적으로 분해된다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘질화물막은 120Å 미만, 바람직하게는 80Å 미만으로 10-150Å 사이의 두께로 증착된다. 더욱 두꺼운 막이 요구된다면, 하기에 설명되는 바와 같이 보다 두꺼운 막을 증착하기 위해 다수의 증착/수소 라디칼 처리 사이클이 이용될 수 있다.

본 발명의 실시예에서, 충분히 두꺼운 실리콘질화물막을 증착한 후, 블록(210)에서 시작하여, 실리콘 소스 가스 및 질소 소스 가스의 흐름이 중단된다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘질화물 증착이 완료되면, 기판은 블록(210)을 시작하여 질소 소스 가스로 선택적으로 처리될 수 있다. 질소 소스 가스만이 약 10초 동안 반응 챔버에 주입된다. 증착 단계 마지막에 질소 소스 가스를 이용한 실리콘질화물막 처리는 기판상의 처리되지 않은 실리콘 사이트(site)를 종결시킨다. 이러한 동작은 N/Si 비율을 증가시키며 실리콘질화물막내의 수소(특히 Si-H 결합 형태)를 감소시킨다. 그러나 동작(210)은 본 발명에 따른 바람직한 실리콘질화물막을 달성하는 데 있어 필수적인 것은 아니다.

실리콘질화물막을 증착하기 위해 본 발명에서 이용되는 처리 가스 혼합물은 550°C 미만 바람직하게는 500°C 미만의 낮은 증착 온도에서 분당 적어도 50Å 바람직하게는 분당 100Å 이상의 비율로 실리콘질화물막이 열적 화학적 기상 증착에 의해 증착되게 한다.

실리콘질화물막은 높은 증착 속도 및/또는 낮은 증착 온도에서 증착되기 때문에, "에즈 증착된" 실리콘질화물막은 품질이 나빠지는 경향이 있다. 즉, "에즈 증착된" 실리콘질화물막은 상당한 Si-H 형태로 15 원자 퍼센트 이상의 높은 수소 농도 및 1.85 미만의 낮은 굴절률 및 높은 습식 에칭 속도(예를 들어, 완충 산화물 에칭(BOE)과 같은 산화물 에칭을 이용하는 실리콘 산화물의 에칭 속도의 2배 이상)를 갖는 경향이 있다. 부가적으로, 염소화 및/또는 유기 실리콘 전구체가 사용되는 경우, 상기 막은 각각 1.0 이상 및 10 원자 퍼센트 이상의 높은 염소 및 탄소 농도를 가질 수 있다. 이러한 불량 품질의 실리콘질화물막은 스페이서 및 인터폴리 유전체와 같은 반도체 디바이스 제조시 실리콘질화물막의 많은 분야에서 부적합하다.

본 발명에 따라, "에즈 증착된" 실리콘질화물막은 예정된 시간 주기 동안 수소 라디칼로 처리되어 순서도(200)의 블록(212)에 개시된 것처럼 "에즈 증착된"막의 품질을 개선시킨다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘질화물막은  $5 \times 10^{15}$  원자/cm<sup>2</sup> -  $1 \times 10^{17}$  원자/cm<sup>2</sup> 사이의 및 바람직하게는  $1 \times 10^{16}$  원자/cm<sup>2</sup>의 플럭스에서 수소 라디칼에 노출된다. 본 발명의 실시예에서, 실리콘질화물막은 15-120초 동안 수소 라디칼로 처리되며 기판은 450-600°C의 온도로 가열된다. 수소 라디칼 처리는 100 millitorr 내지 5 torr 사이의 압력에서 이루어질 수 있다.

수소 라디칼 처리를 위해 사용되는 수소 라디칼은 임의의 적절한 방식으로 형성된다. 본 발명의 실시예에서, 수소 라디칼은 충분한 수의 수소 라디칼을 제공하도록 분해될 수 있는 수소 함유 가스의 플라즈마 분해에 의해 형성된다. 수소 라디칼은 고도로 활성화된 중성 원자의 수소, 및 하전된 수소 이온을 포함하는 모든 수소 원자 종을 포함한다. 적절한 수소 소스 가스는 암모니아(NH<sub>3</sub>) 및 수소 가스(H<sub>2</sub>)를 포함한다. 본 발명의 실시예에서, 수소 소스 가스는 NH<sub>3</sub>와 H<sub>2</sub>의 혼합물을 포함한다. 본 발명의 실시예에서, 수소 처리 가스는 NH<sub>3</sub>만을 또는 H<sub>2</sub>만을 포함한다. 부가적으로, 본 발명의 실시예에서, N<sub>2</sub>, Ar 또는 He와 같은 불활성 가스가 수소 처리 가스와 함께 제공될 수 있다. 수소 함유 가스는 200-2000 watt 사이의 전력에서 마이크로파 또는 무선주파수 소스를 이용하여 수소 라디칼을 제공하도록 적절히 분해될 수 있다. 수소 처리 가스의 플라즈마 분해는 인슈트로 또는 원격 플라즈마를 이용하여 달성될 수 있다. 인슈트 프로세스에서, 플라즈마 및 수소 라디칼은 처리될 실리콘질화물막을 갖는 기판이 위치되는 동일한 챔버에서 발생된다. 적절한 플라즈마 챔버의 예로는 용량성-결합된 PECVD 또는 고밀도 플라즈마 HDP 챔버를 포함한다. 원격 플라즈마 프로세스에서, 수소 라디칼 및 플라즈마는 처리될 실리콘질화물막이 위치됨에 따라 챔버와 분리되어 있는 챔버에서 마이크로파로 발생된다. 원격 플라즈마 프로세스에서, 플라즈마 및 수소 라디칼은 제 1 챔버(분해 챔버 또는 캐비티)에서 발생되고 이들은 분해 챔버로부터 도관을 통해 처리될 실리콘질화물막을 갖는 챔버를 포함하는 제 2 챔버로 흐른다. 임의의 적절한 원격 플라즈마 발생기 반응기는 Astex Astron으로 제한되지 않고, 어플라이드 머티리얼즈 원격 플라즈마 질화 RPN 소스, 및 어플라이드 머티리얼즈 어드밴스드 스트립 패시베이션 플러스(ASP) 챔버가 사용될 수 있다.

본 발명의 실시예에서, 수소 라디칼은 암모니아(NH<sub>3</sub>) 및 수소 가스(H<sub>2</sub>) 또는 이들의 조합과 같이, 수소 함유 가스의 촉매식 분해 또는 "핫 와이어(hot wire)"에 의해 형성된다. "핫 와이어" 프로세스에서, 텅스텐 필라멘트와 같은 와이어 또는 촉매는 약 1600-1800°C의 고온으로 가열되며 필라멘트 위에 수소 처리 가스는 필라멘트 위로 공급된다. 가열된 필라멘트는 수소 라디칼을 형성하기 위해 수소 처리 가스의 균열(cracking) 또는 분해를 야기시킨다. 다음 수소 라디칼은 필라멘트 아래에 위치한 기관 상에 형성된 실리코닐화물막을 처리한다. 필라멘트는 고온이지만, 기관은 처리 프로세스 동안 600°C 미만, 바람직하게 550°C 미만의 낮은 온도로만 가열된다. 본 발명의 또 다른 실시예에서, 유도적으로 발생된 플라즈마는 수소 라디칼을 발생시키기 위해 이용될 수 있다.

본 발명의 실시예에서, "에즈 증착된" 실리코닐화물막은 10원자 퍼센트 미만으로 막의 수소 농도 감소 및/또는 Si-H 결합 분율 감소 및 1.9 이상으로 굴절률 증가를 위한 시간 주기 및 온도 및 압력으로 수소에 노출된다. 유기 실리콘 소스 가스가 이용되는 경우, 막은 5원자 퍼센트 이하로 막내 탄소 농도가 감소될 때까지 처리된다. 염소화 실리콘 소스 가스가 이용되는 경우, 막은 막내 염소 농도가 1 원자 퍼센트 이하가 될때까지 처리된다. 본 발명의 실시예에서, 실리코닐화물막은 습식 에칭 속도가 BOE를 이용하는 실리콘 산화물 에칭과 거의 같아질 때까지 처리된다.

수소 라디칼이 천공될 수 있는 간격 때문에, 실리코닐화물막은 저온 프로세스에 의해 일반적으로 약 100Å 미만으로 전형적으로는 50Å 미만으로 제한되며, 150Å 이하 바람직하게는 100Å 이하의 실리코닐화물막이 수소 라디칼 처리 이전에 형성된다. 더욱 두꺼운 실리코닐화물막이 요구되는 경우, 다수의 증착 및 처리 사이클이 이용될 수 있다. 예를 들어, 300Å 실리코닐화물막이 요구된다면, 100Å의 제 1 실리코닐화물막이 증착된 후 실리코닐화물막은 수소 라디칼로 처리된다. 다음, 100Å의 제 2 실리코닐화물막이 처리된 실리코닐화물막 상에 증착되고 제 2 실리코닐화물막은 수소 라디칼로 처리된다. 다음 100Å의 제 3 실리코닐화물막이 제 2 실리코닐화물막 상에 증착되고 수소 라디칼로 처리된다. 이런 방식으로, 임의의 원하는 두께로 고품질의 실리코닐화물막이 형성될 수 있다.

본 발명에 따른 실리코닐화물막 형성 방법은 실리콘 기관에 위치되는 도펀트 재분포 방지 및/또는 낮은 열적 예산을 요구하는 반도체 디바이스 제조에서 이상적으로 사용된다. 본 발명에 따라 실리코닐화물막의 사용을 위한 일례로 측벽 스페이서 제조가 있다. 이러한 분야에서, 도 3a에 도시된 기관(300)과 같은 기관이 제공된다. 기관(300)은 상부에 게이트 유전막(304)이 형성된 단결정 실리콘 기관 또는 막(302)을 포함한다. 측방으로 대향하는 측벽을 갖는 게이트 전극(306)이 게이트 유전막 상에 형성된다. 전형적으로 한 쌍의 소스/드레인 텅 또는 연장 영역(310)이 게이트 전극(306)의 측방 대향 측벽과 정렬되어 실리콘 기관(302)에 형성된다.

다음, 도 3b에 도시된 것처럼, 본 발명에 따라 형성된 저온 실리코닐화물막은 기관(300) 위에 블랭킷(blanket) 증착된다. 실리코닐화물막(312)의 두께는 제조되는 트랜지스터의 물리적 특성에 따라 좌우되며, 65nm 기술을 위해서 디바이스는 적어도 200Å 두께를 갖는다. 본 발명에 따라, 실리코닐화물막은 높은 증착 속도로 낮은 증착 온도를 이용하여 상기 설명된 것처럼 증착된다. 100Å 이하, 바람직하게 50Å 미만의 두께를 갖는 실리코닐화물막이 먼저 형성된다. 실리코닐화물막은 상기 설명된 것처럼 수소 라디칼로 어닐링된다. 다음, 필요하다면, 제 2 실리코닐화물막이 수소 라디칼 처리된 제 1 실리코닐화물막 상에 형성된다. 제 2 실리코닐화물막이 상기 설명된 것처럼 수소 라디칼로 처리된다. 다음 제 3 실리코닐화물막이 상기 설명된 것처럼 저온 화학적 기상 증착에 의해 증착된다. 증착된 제 3 실리코닐화물막이 상기 설명된 것처럼 수소 라디칼로 처리된다. 이런 방식으로 전체 원하는 두께를 갖는 실리코닐화물막(312)이 형성될 때까지 프로세스가 계속된다. 일부 실시예에서, 증착된 또는 성장된 실리콘산화물막은 실리코닐화물막 보다 먼저, 형성되어 실리코닐화물막 아래에 놓인다. 실리코닐화물막(312)이 저온 프로세스로 형성되고 저온에서 수소 라디칼로 처리되기 때문에, 소스/드레인 연장부(310)를 형성하는 도펀트는 실리코닐화물 형성 동안 기관(300) 내에서 거의 이동하거나 재분포되지 않는다. 이런 방식으로, 제조된 디바이스의 전기적 특성이 일정해진다.

다음, 도 3c에 도시된 것처럼, 충분히 두꺼운 실리코닐화물막(312)을 형성한 후, 실리코닐화물(312)은 게이트 전극(306)의 측방으로 대향하는 측벽들을 따라 연장되는 측벽 스페이서(314)를 형성하도록 이방성 에칭될 수 있다. 이방성 에칭 프로세스는 소스/드레인 연장부(310) 및 게이트 전극(306)의 상부와 같이 수평 표면으로부터 실리코닐화물막을 제거하면서 게이트 전극(306)의 측벽과 같은 수직 표면상의 실리코닐화물은 남겨둔다. 측벽 스페이서(314)의 형성 이후, 깊은 소스/드레인 영역(316)의 형성 및/또는 소스/드레인 영역 상의 실리사이드(318) 형성과 같이 반도체 디바이스의 부가적인 프로세스가 이루어질 수 있다. 측벽 스페이서(314)는 깊은 소스/드레인 영역의 오프셋을 허용하며 소스/드레인 영역 상에 형성되는 티타늄 실리사이드 또는 코발트 실리사이드와 같은 실리사이드 및 게이트 전극의 상부가 종래 기술에 공지된 바와 같이 자기 정렬 프로세스로 형성되는 것을 허용한다.

#### 저온 실리코닐화물막 형성 장치

본 발명의 실리콘질화물막은 저압열 화학적 기상 증착 반응기에서 바람직하게 형성된다. 적절한 반응기(400)의 예가 도 4에 도시된다. 본 발명의 실시예에서, 수소 라디칼 처리는 실리콘질화물막을 증착하는데 사용되는 것과 동일한 챔버에서 이루어질 수 있다. 막 증착에 이용되는 동일 챔버내에서 "에즈 증착된(as deposited)" 실리콘질화물막을 수소 라디칼 처리하기 위해서, 챔버에 수소 라디칼 소스를 제공하도록 원격 플라즈마 소스가 저압 화학적 기상 증착 반응기(400)에 결합될 수 있다. 저압 화학적 기상 증착 반응기(400)에 결합되는 원격 플라즈마 발생기 소스(801)의 예가 도 4에 도시된다. 원격 플라즈마 발생기(801)와 열 화학적 기상 증착 반응기(400)의 결합은 본 발명의 처리량을 크게 증가시키며 실리콘질화물막이 실리콘질화물 증착 이후 수소 라디칼로 바로 처리될 수 있게 한다. 부가적으로, 이러한 장치는 200Å 이상의 실리콘질화물막과 같이 두꺼운 실리콘질화물막을 형성하는데 연속적인 증착/처리 사이클이 이용되는 경우 웨이퍼 처리량을 크게 증가시킨다.

도 4는 반응 용기 어셈블리(반응기)(400)를 나타낸다. 도 4는 처리 가스, 전구체 가스, 또는 반응 가스가 웨이퍼 기관(미도시)상에 실리콘 함유막을 형성하도록 열적으로 분해되는 반응 챔버(408)를 한정하는 챔버 바디(406)를 포함하는 반응기(400)를 나타낸다. 챔버 바디(406)는 챔버가 10 내지 350 Torr 사이의 압력을 지탱하는 물질로 구성된다. 일 실시예에서, 챔버 바디(406)는 알루미늄 합금 물질로 구성된다. 챔버 바디(406)는 챔버 바디(406)를 냉각시키기 위해 온도가 제어된 유체가 펌프되는 통로(410)를 포함한다. 온도 제어 유체 통로를 갖춘 반응기(400)는 "콜드-월(cold-wall)" 반응기로 간주된다. 챔버 바디(406) 냉각은 반응 중 및 고온으로 인한 챔버 바디(406)를 형성하는데 사용되는 물질의 부식을 방지한다.

챔버 바디(406)내에는 반응 챔버(408), 챔버 리드(426), 페이스플레이트(또는 샤워헤드)(430), 블로커 플레이트(428), 및 저항성 가열 어셈블리(404)를 포함한다. 저항성 가열 어셈블리(404)는 니켈로 이루어진 히터 튜브(414)의 길이방향으로 연장되는 와이어 리드(412)를 포함한다. 히터 튜브(414)의 단부에는 소결된 AlN으로 구성된 가열 디스크(416)가 제공된다. 가열 디스크(416) 내에는 몰리브덴으로 구성된 하나 이상의 가열 코일(418)이 제공된다. 와이어(412)와 코일(418)은 브레이징에 의해 결합되며 그 안은 전기적으로 전도성이다. 와이어(412)는 AlN 세라믹 슬리브(420)와 전기적으로 절연된다. 코일(418)은 대체로 전기적 저항 및 반응 챔버(408) 가열을 제공한다. 가열 디스크(416) 단부에는 포켓(422)이라 불리는 리세스가 있으며 포켓(422) 내에 웨이퍼(미도시)가 위치된다.

도 4는 리프터 어셈블리(436)가 추가로 고정되어 있는 챔버 바디(408)를 나타낸다. 리프터 어셈블리(436)는 반응 챔버(408) 안팎으로 웨이퍼 기관(미도시)의 이동을 용이하게 한다. 리프터 어셈블리(436)는 스텝퍼 모터일 수 있다. 리프터 어셈블리(436)는 반응 챔버(408) 안팎으로 웨이퍼의 이동이 용이하도록 축(405)을 따라 히터 어셈블리(404)를 위아래로 이동시킨다.

기관 또는 웨이퍼는 예를 들어 로봇형 이송 메커니즘(미도시)에 의해 진입 포트(434)를 통해 반응 챔버(408)에 위치된다. 일 실시예에서, 로봇형 이송 메커니즘은 이송 블레이드에 결합되며 이송 블레이드를 제어한다. 이송 블레이드는 가열 디스크(416)의 포켓(422) 상에 그리고 반응 챔버(408)속에 기관을 장착하기 위해 개구부를 통해 기관을 삽입한다. 기관이 장착됨에 따라, 리프터 어셈블리(436)는 히터 어셈블리(404) 및 가열 디스크(416)를 축(405)을 따라 내부 방향으로 하강시켜 가열 디스크(416)의 표면이 진입 포트(434) 아래에 있게 된다. 가열 디스크(416)가 하강됨에 따라, 기관은 반응 챔버(408)에 위치된다. 일단 기관이 장착되면, 진입 포트(434)는 밀봉되고 리프터 어셈블리(436)는 히터 어셈블리(404) 및 가열 디스크(416)를 페이스플레이트(430)를 향해 보다 위(예를 들어 상향) 방향으로 이동 또는 전진시킨다. 일 실시예에서, 웨이퍼 기관이 페이스플레이트(430)로부터 짧은 거리(예를 들어, 400-900mils)에 있다면 전진은 중단된다.

일 실시예에서, 증착 또는 프로세싱 준비가 되면, 가스 패널(401)에 의해 제어되는 처리 가스 또는 전구체 가스가 반응 챔버속에 주입된다. 블로커 플레이트(428)는 가스 흐름을 허용하는 다수의 홀(미도시)을 갖는다. 처리 가스는 먼저 포트(424)를 통해, 그리고 블로커 플레이트(428), 페이스플레이트(430)를 통해 반응 챔버(408)에 주입된다. 블로커 플레이트(428) 내의 다수의 홀 및 페이스플레이트(430)를 통해 포트(424)로부터 처리 가스가 분포된다. 페이스플레이트(430)는 반응 챔버(408) 속으로 처리 가스를 균일하게 분포시킨다.

챔버로부터 기관은 히터 어셈블리(404)를 예를 들어 아래로(하향) 제거될 수 있다. 가열 어셈블리(404)가 리프터 어셈블리(436)의 작동에 의해 하향 이동함에 따라, 리프트 핀(442)은 콘택 리프트 플레이트(444)와 접촉되어 정지되어 유지되어 결국은 가열 디스크(416)의 상부 표면 위로 연장되어 하강함에 따라 가열 디스크(416)로부터 기관을 분리시킨다. 다음 이송 블레이드가 개구부(434)를 통해 삽입되어 기관과 가열 디스크(416) 사이에 위치된다. 다음 콘택 리프트 플레이트(444)가 하강하여 리프트 핀(442)을 하강시키고 기관이 이송 블레이드 상에 하강되게 한다. 기관은 이송 블레이드에 의해 진입 포트(434)를 통해 제거될 수 있다.



상기 설명된 메커니즘은 순차적 기관에 대해 반복될 수 있다. 적절한 리프터 어셈블리(436)의 상세한 설명은 캘리포니아, 산타클라라의 어플라이드 머티리얼즈사에 양도된 USP 5,772,773호에 개시되어 있다.

또한, 반응기(400)는 반응 챔버(408) 내부의 처리 온도를 모니터링하기 위한 온도 표시기(미도시)를 포함한다. 일 실시예에서, 온도 표시기는 열전쌍(thermocouple)일 수 있으며, 이는 바람직하게 가열 디스크(416)의 표면(또는 가열 디스크(416)에 의해 지지되는 기관 표면)에서 온도에 대한 데이터를 제공하도록 위치된다. 반응기(400)에서, 기관 온도는 가열 디스크(416)의 온도보다 20-30°C 약간 더 차다.

도 4는 반응 챔버(408)가 온도-제어 라이너 또는 절연 라이너(409)로 라이닝되는 것을 나타낸다. 상기 언급된 바와 같이, 챔버 바디(406)는 콜드-월(cold-wall) 챔버 효과를 발생시키기 위해 온도 제어 유체에 대한 통로(410)를 포함한다. 반응 챔버(408) 내부의 반응 온도는 600°C 이상 높을 수 있다. 반응 챔버(408)에 막을 형성하는데 사용되는 화학작용(chemistry)으로, 반응 챔버(408)의 챔버 바디(406)는 쉽게 부식된다. 따라서, 챔버 바디(406)는 챔버 바디(406)를 냉각시키는 물 또는 다른 냉각 유체와 같은 온도 제어 유체용 통로(410)를 구비하고 있다. 이는 챔버 바디(406)가 쉽게 부식될 수 있게 챔버 바디(406)가 너무 뜨거워지는 것을 방지한다. 이러한 콜드-월 챔버와 관련되는 문제점 중 하나는 챔버의 콜드-월에 인접해 있는 반응 챔버(408) 안쪽 영역이 급격한 온도 강하를 나타내는 경향이 있다는 것이다. 이들 영역에서 급격한 온도 강하는 반응 챔버(408)에 형성된 실리콘을 포함하는 막에 대해 바람직하지 못한 또는 비호의적인 미립자 형성 및 응축을 조장시킨다. 예를 들어, 전형적으로 실리콘질화물( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )막을 형성하기 위한 증착 공정에서 HCD와  $\text{NH}_3$ 의 반응은  $\text{NH}_4\text{Cl}$  형성을 야기시킨다.  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 은 형성될  $\text{Si}_3\text{N}_4$  오염을 방지하기 위해 세척이 요구되는 바람직하지 못한 염 부산물이다. 약 150°C 이하로 온도가 강하되는 경우,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ 과 응축물이 발생된다. 이러한 미립자는 챔버 벽으로부터 떨어져 나갈 수 있다. 떨어져나온 미립자는 웨이퍼 기관상에 미립자 형성을 위한 핵형성 사이트를 형성한다. 일 실시예에서, 반응 챔버(408)는 미립자의 바람직하지 못한 응축을 방지하기 위해 온도-제어 라인(409)으로 라이닝된다.

일 실시예에서, 온도-제어 라이너(409)는 챔버 바디(406)의 벽에 결합되어 온도-제어 라이너(409)는 챔버 바디(406)의 벽을 따라 단지 몇개의 물리적 접촉 포인트만을 갖게 된다(예를 들어, 도 4에 도시된 콘택 포인트(459) 참조). 온도-제어 라이너(409)와 챔버 바디(406) 벽 사이의 물리적 콘택 최소화는 전도성 포인트들을 최소화시킴으로써 챔버 바디(406)에 대한 열 손실을 최소화시킨다.

퍼지 가스(예를 들어 질소)는 원치않는 증착을 방지하기 위해, 증착 동안 반응 챔버 하부에 공급될 수 있다.

또한, 반응기(400)는 압력 조절기 또는 조절기들(미도시)에 결합된다. 압력 조절기들은 반응 챔버(408)의 압력을 설정 및 유지한다. 이러한 압력 조절기는 당업계에 공지되어 있다. 실시예에서 사용될 수 있는 압력 조절기(들)는 약 10 torr 내지 약 350 torr 범위 레벨로 압력을 유지할 수 있어야 한다. 선택적으로, 반응기(400)는 반응 챔버(408)로부터 가스를 펌프시키기 위해 공지되어 있는 가스 펌프-아웃 시스템(미도시)에 결합될 수 있다. (예를 들어, 트로틀 밸브(들)를 포함할 수 있는) 가스 펌프-아웃 시스템은 반응 챔버(408)내 압력을 제어하는데 사용될 수 있다. 반응기(400)는 반응 챔버(408)내의 처리 압력을 모니터링하는 센서(미도시)에 결합된다.

일 실시예에서, 제어기 또는 프로세서/제어기(900)는 챔버 바디(406)에 결합되어 챔버 압력을 나타내는 센서로부터의 신호를 수신한다. 또한, 프로세서/제어기(900)는 가스 패널 시스템(401)에 결합되어 질소 소스 가스, 실리콘 소스 가스 및 불활성 및/또는 퍼지 가스의 흐름을 제어한다. 프로세서(900)는 반응 챔버(408)내에서 원하는 압력을 조절 또는 유지하기 위해 압력 조절기 또는 조절기들과 결합되어 동작할 수 있다. 또한, 프로세서/제어기는 가열 디스크의 온도, 및 그 위에 위치되는 기관의 온도를 제어할 수 있다. 프로세서/제어기(900)는 질소 소스 가스 흐름, 실리콘 소스 가스 흐름 및 불활성 가스 흐름 뿐만 아니라 본 발명에 따른 실리콘질화물막을 형성하기 위한 파라미터 세트로 챔버내 압력 및 가열 디스크의 온도를 제어하기 위한 컴퓨터 관독가능 포맷내에 명령을 포함하는 메모리를 포함한다. 예를 들어, 프로세서/제어기(900)의 메모리에는 기관을 550°C 이하의 온도로 가열하는 명령 및 실리콘 소스 가스, 및 질소 소스 가스 및/또는 실리콘/질소 소스 가스를 챔버(408)속에 제공하면서 기관을 550°C 이하의 온도로 가열하는 명령 및 챔버(408)내 압력을 10-350torr로 제어하는 명령이 저장된다.

반응기(400) 부품용 물질은 노출된 부품이 본 발명의 고온 프로세싱과 호환될 수 있도록 선택된다. 실리콘 함유막을 형성하기 위한 본 발명의 전구체 또는 반응 종의 열적 분해는 600°C 이상의 높은 반응 챔버(408) 내부 온도를 수반한다. 반응기(400) 부품용 물질은 이러한 고온을 견딜 수 있는 형태의 것이어야 한다. 일 실시예에서, 챔버 바디(406)는 강성의 양극산화된 알루미늄과 같이 내부식성(corrosion resistant) 금속으로 형성된다. 이러한 형태의 알루미늄은 고가이다. 선택적으로, 챔버 바디(406)는 온도 제어 유체가 통과하는 통로(410)를 포함한다. 온도 제어 유체 통로는 통로(410)가 챔버 바디



(406)의 냉각을 유지하기 때문에 챔버 바디(406)를 매우 얇은 알루미늄 합금 또는 다른 적절한 금속으로 형성할 수 있게 한다. 언급된 바와 같이, 이는 반응기(400)가 콜드-윌 반응기로 불리는 이유중 하나이다. 콜드-윌 또는 냉각된 챔버 바디(406)상에 원치않는 응축물을 방지하기 위해, 상기 개시된 온도-제어 라이너(409)는 반응 챔버(408)로부터 방사된 열을 흡수하고 온도-제어 라이너(409)의 온도를 형성되는 막 분야에 따라 적어도 약 150°C 이상 또는 선택적으로 적어도 약 200°C 이상을 유지하는 물질로 형성될 수 있다. 일 실시예에서, 온도-제어 라이너(409)는 원치않는 응축물을 방지하기에 충분한 온도로 유지될 필요가 있다.

부가적으로, 부품 물질은 처리 가스 또는 반응 챔버(408) 속에 주입될 수 있는 전구체 또는 세척 화학제품과 같은 다른 화학제품과 호환성이 있어야 한다. 일 실시예에서, 가열 어셈블리(404)의 노출된 표면은 프로세스와 호환성 있는 다양한 물질로 구성될 수 있다. 예를 들어, 본 실시예에서는 부식성 화학제품이 고온에서 인가될 것을 요구한다. 따라서 가열 어셈블리 부품은 이러한 환경을 견딜 수 있어야 한다. 일 실시예에서, 가열 어셈블리 부품은 알루미늄 질화물(AlN)과 같은 세라믹 물질로 이루어진다. 가열 어셈블리(404)의 가열 디스크(416)는 알루미늄 질화물 물질을 포함할 수 있다.

일 실시예에서, 반응 챔버(408)는 N<sub>2</sub>, He, Ar 또는 이들의 조합과 같은 안정화 가스를 사용하여 안정화된다. 일 실시예에서, 반응 챔버(408)속에 안정화 가스를 방출시키는 가스 패널 시스템(401) 매니폴드가 포함된다. 안정화 가스는 5-6리터의 용량을 갖는 반응기(400)에 대해 1,000 sccm 내지 10,000sccm, 바람직하게는 약 2,000sccm 범위의 유량 비율을 가질 수 있다.

본 발명의 실시예에서, 반응기(400)는 증착 챔버(408)에 수소 라디칼을 발생시키고 제공하는 원격 플라즈마 반응기(801)에 결합된다. 원격 플라즈마 발생기(801)는 마이크로파 소스로 마이크로파를 발생시키는 마그네트론(802)을 포함한다. 마그네트론(802)은 바람직하게 10,000 watt에 이르는 2.5Ghz 마이크로파 에너지를 발생시킬 수 있다. 요구되는 전력량은 챔버(408) 크기에 따라(비례) 좌우된다는 것을 주목하라. 300mm 웨이퍼를 처리하는데 사용되는 어닐링 챔버에 대해서 10,000watt의 전력이면 충분하다. 마이크로파 소스는 장치(800)에서 플라즈마를 발생시키는데 사용되지만, 무선주파수(RF)와 같은 다른 에너지 소스가 사용될 수도 있다.

마그네트론(802)은 임피던스 매칭을 제공하는 더미 로드(804) 및 절연체에 결합된다. 더미 로드는 반사 전력을 흡수하여 마그네트론 헤드로 반사 전력이 반사 전력이 향하는 것을 방지한다. 절연체 및 더미 로드(804)는 오토튜너(808)에 마이크로파 에너지를 전송하는 도파관(806)에 의해 결합된다. 오토튜너(808)는 임피던스 매칭 헤드 및 전력 소스로 향하는 마이크로파 에너지의 반사 전력을 감소시키기 위해 임피던스 매칭 스태브로 구동되는 3개의 스텝퍼 모터를 사용하는 개별 검출기 모듈로 구성된다. 오토튜너(808)는 마이크로파 어플리케이션 캐비티(또는 챔버)(810) 중심으로 마이크로파 에너지를 집중시켜 도관(812)에 의해 어플리케이션 캐비티(810)속에 공급된 수소 처리 가스에 의해 에너지가 흡수되게 한다. 오토튜너가 바람직하지만 수동 튜너가 사용될 수도 있다.

어플리케이션 캐비티(810)는 어플리케이션 캐비티(810) 안쪽에 위치한 석영 플라즈마 튜브를 통해 하향됨에 따라 수소 처리 가스로부터 플라즈마가 형성되도록 마그네트론(802)으로부터 수신된 마이크로파 에너지를 사용한다. 제한되지는 않지만 수소 라디칼을 발생시키는데 사용되는 수소 처리 가스의 탱크와 같은 소스(814)가 마이크로파 어플리케이션 캐비티(810)에 결합된다. 부가적으로, 아르곤(Ar), 또는 헬륨(He)과 같은 불활성 가스의 소스가 어플리케이션 캐비티(810)에 결합될 수 있다. 프리파이어(prefire) 수은 램프가 처리 가스를 부분적으로 이온화시켜 마이크로파 에너지가 플라즈마를 보다 쉽게 점화시키도록 플라즈마 튜브 속에 자외선 광을 방사시키는데 사용될 수 있다.

마그네트론(802)으로부터의 마이크로파 에너지는 기본적으로 이온화된 또는 하전된 수소 원자, 활성화된(반응성) 전기적 중성 수소 원자 및 수소를 함유하는 중간 종의 3가지 성분으로 이루어진 플라즈마로 수소 처리 가스를 변환시키며, 상기 성분들은 모두 본 발명에 따르는 "수소 라디칼"을 구성한다.

어플리케이션 캐비티(810)는 장치(400)의 리드에 볼트로 고정될 수 있다. 집중된 플라즈마 혼합물은 도관(814)을 통해 챔버(408)로 흘러간다. 수소 라디칼은 어닐링되는 기판이 위치한 챔버(408)로부터 분리된 또는 원격 위치 챔버(810)에서 발생되기 때문에, 수소 라디칼은 "원격적으로 발생된다"라고 할 수 있다.

원격 플라즈마 소스(801)는 프로세서/제어기(900)에 결합될 수 있다. 프로세서/제어기(900)는 컴퓨터 판독가능 포맷으로 메모리에 저장된 명령들을 포함하여, 상기 개시된 수소 라디칼 처리 프로세스를 달성하기 위해 원격 플라즈마 소스(801)의 동작을 제어한다. 예를 들어 명령은 5×10<sup>15</sup> 원자/cm<sup>2</sup> 내지 1×10<sup>17</sup> 원자/cm<sup>2</sup>의 플럭스와 같이, 실리콘질화물막을

처리하는데 요구되는 원하는 수소 라디칼 플럭스를 달성하도록 수소 처리 가스 및 유량비율을 조절하는 명령 및 가열 디스크 온도(및 웨이퍼의 온도)를 제어하는 명령 및 수소 라디칼 처리 프로세스 동안 챔버(408)내 압력을 제어하는 명령을 포함할 수 있다.

부가적으로, 본 발명은 단일 웨이퍼 장치를 이용하는 것과 관련하여 개시되었지만, 필요하다면 본 발명은 본 발명의 범주를 이탈하지 않고 증착 및 처리 프로세스를 세미-배치(semi-batch) 또는 튜브형 장치에서 수행할 수 있다.

본 발명의 선택적 실시예에서, 저온 실리콘질화물 증착 프로세스는 도 5에 도시된 클러스터 툴(500)과 같은 클러스터 툴에서 수행될 수 있다. 클러스터 툴(500)은 내부에 로봇과 같은 웨이퍼 핸들러(504)를 갖는 시일가능 이송 챔버(502)를 포함한다. 로드락 또는 쌍의 로드 락(506)은 시일가능 도어를 통해 이송 챔버(502)에 결합되어 웨이퍼가 로봇(504)에 의해 클러스터 툴(500) 안팎으로 이동될 수 있다. 시일가능한 도어에 의해 어플라이드 머티리얼즈 Xgen 단일 웨이퍼, 콜드 월, 저항성 히터를 갖는 열적 화학적 기상 증착 반응기와 같은 실리콘질화물 증착 반응기(508)에 이송 챔버(502)가 결합된다. 도 5에 도시된 것처럼 시일가능한 도어에 의해 수소 라디칼 처리 챔버(510)에 이송 챔버(502)가 결합된다. 예를 들어, 수소 라디칼 처리 챔버(510)는 어플라이드 머티리얼즈 어드밴스드 스트립 패시베이션 플러스(ASP) 챔버와 같은 플라즈마 챔버, 어플라이드 머티리얼즈 원격 플라즈마 질화 RPN 챔버와 같은 원격 플라즈마 챔버, 또는 "핫 와이어" 챔버일 수 있다. 전형적으로, 이송 챔버(502)는 감압이 유지되며  $N_2$ 와 같은 불활성 분위기를 포함한다. 이런 방식으로, 웨이퍼는 산화 분위기 또는 오염물에 웨이퍼를 노출시키지 않고 제 1 챔버(예를 들어, 실리콘질화물 증착 챔버(508))로부터 제 2 챔버(예를 들어, 수소 라디칼 처리 챔버)로 또는 이와 반대로 이송될 수 있다. 상기 개시된 것처럼 클러스터 툴(500)은 실리콘질화물 증착 반응기(500) 뿐만 아니라 상기 개시된 것처럼 실리콘질화물막을 증착하고 수소 라디칼로 실리콘질화물막을 처리하기 위한 수소 라디칼 처리 챔버(510)의 동작을 제어하기 위해 프로세서/제어기(900)를 포함한다.

사용시, 도 3a에 도시된 웨이퍼와 같은 웨이퍼 도는 기판이 로드락(506)으로부터 로봇(504)에 의해 이송 챔버(502)로 이동된다. 웨이퍼는 실리콘질화물 증착 챔버(508)로 이송되고, 이들 사이의 도어는 밀폐되고 낮은 증착 온도 프로세스로 웨이퍼상에 실리콘질화물막이 형성된다. 일단 웨이퍼상에 실리콘질화물막이 형성되면, 웨이퍼는 실리콘질화물 증착 챔버(508)로부터 로봇(504)에 의해 제거되어 수소 라디칼 처리 챔버(510)로 로봇(504)에 의해 전달된다. 수소 라디칼 처리 챔버(510)와 이송 챔버(502) 사이의 도어가 밀폐되고 상기 개시된 것처럼 실리콘질화물막이 수소 라디칼에 노출된다. 보다 두꺼운 실리콘질화물막이 요구된다면, 웨이퍼는 챔버(510)로부터 제거되고 추가적으로 실리콘질화물을 증착하기 위해 실리콘질화물 증착 챔버(508)로 전달된다. 웨이퍼가 다시 한번 실리콘질화물 증착 챔버(508)로부터 제거되고 수소 라디칼 처리 챔버(510)로 다시 전달되어 다시 한번 수소 라디칼 처리된다. 원하는 두께 및 품질의 실리콘질화물막이 얻어질 때까지 증착 챔버(508)와 처리 챔버(510) 사이에서 웨이퍼가 지속적으로 이송될 수 있다. 일단 거의 두꺼운 실리콘질화물막이 형성되면, 웨이퍼는 클러스터 툴(500)로부터 제거된다.

낮은 증착 온도에서 고품질 실리콘질화물막의 증착 및 처리를 위한 방법 및 장치를 개시하였다.

## (57) 청구의 범위

### 청구항 1.

550°C 이하의 온도로 기판을 가열하는 단계;

상기 기판을 550°C 이하의 온도로 가열하면서 상기 기판 상에 실리콘질화물막을 형성하기 위해, 실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 열적으로 분해하는 단계; 및

상기 실리콘질화물을 수소 라디칼로 처리하는 단계를 포함하는 실리콘질화물막 형성 방법.

### 청구항 2.

제 1 항에 있어서, 상기 수소 라디칼은 수소 함유 소스 가스의 플라즈마 분해에 의해 형성되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

### 청구항 3.

제 2 항에 있어서, 상기 수소 함유 소스 가스는 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 4.

제 3 항에 있어서, 상기 수소 함유 소스 가스는 수소 가스(H<sub>2</sub>)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 5.

제 2 항에 있어서, 상기 수소 함유 소스 가스는 H<sub>2</sub>를 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 6.

제 5 항에 있어서, 상기 수소 함유 소스 가스에 질소 가스(N<sub>2</sub>), 아르곤(Ar) 및 헬륨(He)으로 이루어진 그룹에서 선택된 불활성 가스가 제공되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 7.

제 2 항에 있어서, 상기 소스 가스의 플라즈마 분해는 상기 실리콘질화물막이 수소 라디칼로 처리되는 챔버로부터 떨어져 있는 챔버에서 이루어지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 8.

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계는 100mTorr 내지 5Torr 사이의 압력에서 이루어지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 9.

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은 상기 막 처리 단계 이전에 1.0 원자 퍼센트 이상 그리고 상기 막 처리 단계 이후에 1.0 원자 퍼센트 미만의 염소 농도를 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 10.

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은 상기 막 처리 단계 이전에 10 원자 퍼센트 이상 그리고 상기 막 처리 단계 이후에 5 원자 퍼센트 미만의 탄소 농도를 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

#### 청구항 11.

제 1 항에 있어서, 상기 열적 분해 온도는 500°C 미만인 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 12.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은 분당 100Å 이상의 증착 속도로 형성되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 13.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은 상기 수소 라디칼 처리 단계 이전에 150Å 미만의 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 14.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은 상기 수소 라디칼 처리 단계 이전에 15 원자 퍼센트 이상의 수소 농도를 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 15.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘 함유 소스 가스 또는 상기 실리콘/질소 함유 소스 가스는 단일 결합에 의해 제 2 실리콘 원자에 결합되는 제 1 원자 및 상기 제 1 실리콘 원자에 결합되는 염소(Cl) 원자 또는 질소(N)원자 및 상기 제 2 실리콘 원자에 결합되는 염소 원자 또는 질소 원자를 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 16.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘 함유 소스 가스 또는 실리콘/질소 함유 소스 가스는 제 2 실리콘 원자에 단일 결합에 의해 결합되는 제 1 실리콘 원자를 포함하며, 상기 실리콘 원자 각각의 다른 세개의 결합은 질소 원자 또는 염소 원자중 하나에 결합되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 17.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘 소스 가스 또는 상기 실리콘/질소 소스 가스는 제 2 실리콘 원자와의 단일 결합을 갖는 제 1 실리콘 원자에 결합되는 질소 원자와 결합되는 유기 그룹을 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 18.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘 함유 소스 가스 또는 상기 실리콘/질소 함유 소스 가스는 염소화 또는 비-염소화 유기 아미노-디 또는 모노-실란  $R_2N-Si(R'_2)-Si_x(R'_2)_y-NR_2$  ( $x=y=0$  또는 1; R, R'=Cl, 또는 메틸, 또는 에틸, 또는 이소-프로필, 또는 다른 알킬 그룹, 또는 또다른 알킬아미노 그룹, 또는 N 함유 고리형 그룹, 또는 시릴(silyl) 그룹)을 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 19.**

제 18 항에 있어서, 상기 실리콘 함유 소스 가스 또는 상기 실리콘/질소 함유 소스 가스는 1,2-디에틸-테트라키스(디에틸아미노) 디실란, 1,2-디클로로-테트라키스(디에틸아미노)디실란, 및 헥사키스(N-피롤리디노) 디실란으로 이루어진 그룹으로부터 선택되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 20.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘 함유 소스 가스는 헥사클로로디실란(HCD)인 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 21.**

제 1 항에 있어서,

실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 열적으로 분해시킴으로써 상기 처리된 실리콘질화물막상에 제 2 실리콘질화물막을 형성하는 단계; 및

상기 제 2 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 22.**

제 21 항에 있어서,

실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 및 질소 함유 소스 가스를 열적으로 분해시킴으로써 상기 처리된 제 2 실리콘질화물막상에 제 3 실리콘질화물막을 형성하는 단계; 및

상기 제 3 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 23.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은  $5 \times 10^{15}$  원자/cm<sup>2</sup> -  $1 \times 10^{17}$  원자/cm<sup>2</sup> 사이의 플럭스에서 수소 라디칼로 처리되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 24.**

제 23 항에 있어서, 상기 수소 라디칼로 상기 실리콘질화물막을 처리하는 동안의 압력은 100mTorr-5Torr 사이인 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 25.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막을 형성하는 동안 상기 챔버 압력은 10-350Torr 사이인 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 26.**

제 1 항에 있어서, 상기 증착된 실리콘질화물막은 10-120초 사이 동안 처리되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 27.**

제 1 항에 있어서, 상기 증착된 실리콘질화물막은 450-600°C 사이의 온도에서 수소 라디칼로 처리되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 28.**

제 14 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막의 처리 단계 이후, 상기 실리콘질화물막은 10원자 퍼센트 미만의 수소 농도를 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 29.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계 이전에, 상기 실리콘질화물막은 1.85 미만의 굴절률을 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 30.**

제 29 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계 이후에, 상기 실리콘질화물막은 1.90 이상의 굴절률을 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 31.**

제 1 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계 이전에, 상기 실리콘질화물막은 완충 산화물 에칭(BOE)을 이용하여 실리콘질화물막을 에칭하는 것보다 2배 이상의 에칭 속도를 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 32.**

제 31 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계 이후에, 상기 실리콘질화물막은 완충 산화물 에칭을 이용하여 실리콘질화물막을 에칭하는 것과 대략 동일한 에칭 속도를 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 33.**

실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 550°C 미만의 온도에서 열적으로 분해시킴으로써 분당 100Å 이상의 증착 속도에서 150Å 미만 두께의 실리콘질화물막을 증착하는 단계; 및

처리된 실리콘질화물막을 형성하기 위해 수소 함유 소스의 플라즈마 분해에 의해 형성된 수소 라디칼로 상기 증착된 실리콘질화물막을 처리하는 단계를 포함하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 34.**

제 33 항에 있어서, 상기 실리콘 함유 소스 가스 또는 실리콘/질소 함유 소스 가스는 유기-디- 또는 모노-실란 또는 유기 아미노-디 또는 모노-실란으로 이루어진 그룹에서 선택되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 35.**

제 33 항에 있어서, 상기 수소 함유 소스 가스는 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 36.**

제 33 항에 있어서, 상기 수소 함유 소스 가스는 수소 가스(H<sub>2</sub>)를 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 37.**

제 33 항에 있어서, 상기 수소 함유 소스 가스는 암모니아(NH<sub>3</sub>) 및 수소(H<sub>2</sub>)를 포함하는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 38.**

제 33 항에 있어서, 상기 증착된 실리콘질화물막은  $5 \times 10^{15}$  원자/cm<sup>2</sup> -  $1 \times 10^{17}$  원자/cm<sup>2</sup> 사이의 플럭스를 갖는 수소 라디칼로 처리되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 39.**

제 33 항에 있어서, 상기 증착된 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하기 이전에, 상기 실리콘질화물막은 Si-H 형태의 15 원자 퍼센트 이상의 수소 농도를 가지며, 상기 증착된 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계 이후에, 상기 처리된 실리콘질화물막은 10% 미만의 수소 농도 및 실질적으로 감소된 Si-H 결합을 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 40.**

제 33 항에 있어서, 상기 플라즈마 분해는 상기 실리콘질화물막이 수소 라디칼로 처리되는 상기 챔버로부터 떨어져 있는 챔버에서 이루어지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 41.**

제 33 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은 상기 실리콘질화물이 증착되는 챔버와 동일한 챔버내에서 처리되는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

**청구항 42.**



실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 열적으로 분해시킴으로써 실리콘질화물막을 증착하는 단계 - 상기 실리콘 함유 소스 또는 상기 실리콘/질소 함유 소스 가스는 염소 및 탄소를 포함함 - ; 및

처리된 실리콘질화물막을 형성하기 위해 수소 함유 가스의 플라즈마 분해에 의해 형성된 수소 라디칼로 상기 증착된 실리콘질화물막을 처리하는 단계를 포함하는 실리콘질화물막 형성 방법.

### 청구항 43.

실리콘/질소 함유 소스 가스 또는 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스를 열적으로 분해시킴으로써 실리콘질화물막을 증착하는 단계 - 상기 실리콘질화물막을 증착한 이후, 상기 실리콘질화물막은 15 원자 퍼센트 이상의 수소 농도 및 10 원자 퍼센트 이상의 탄소 농도를 가짐 - ; 및

상기 실리콘질화물막이 10원자 퍼센트 미만의 수소 농도 및 5원자 퍼센트 미만의 탄소 농도를 가질 때까지 상기 증착된 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하는 단계를 포함하는 실리콘질화물막 형성 방법.

### 청구항 44.

제 43 항에 있어서, 상기 실리콘질화물막은 상기 막 처리 단계 이전에 1.0 원자 퍼센트 이상 그리고 상기 막 처리 단계 이후에 1.0 원자 퍼센트 미만의 염소 농도를 가지는 것을 특징으로 하는 실리콘질화물막 형성 방법.

### 청구항 45.

실리콘질화물막 형성 장치로서,

기판을 보유하도록 챔버내에 위치된 기판 지지체;

상기 기판 지지체 상에 위치되는 기판을 가열하는 히터;

실리콘 소스 가스와 질소 소스 가스 및/또는 실리콘/질소 소스 가스를 포함하는 처리 가스 혼합물을 상기 챔버 속에 제공하는 가스 입구;

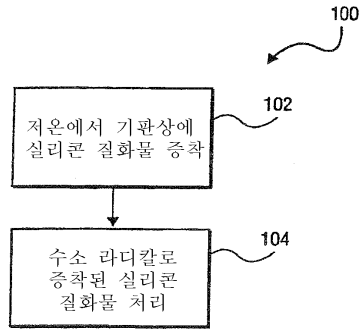
수소 함유 가스로부터 수소 라디칼을 발생시키는 수단; 및

상기 장치의 동작을 제어하는 프로세서/제어기를 포함하며,

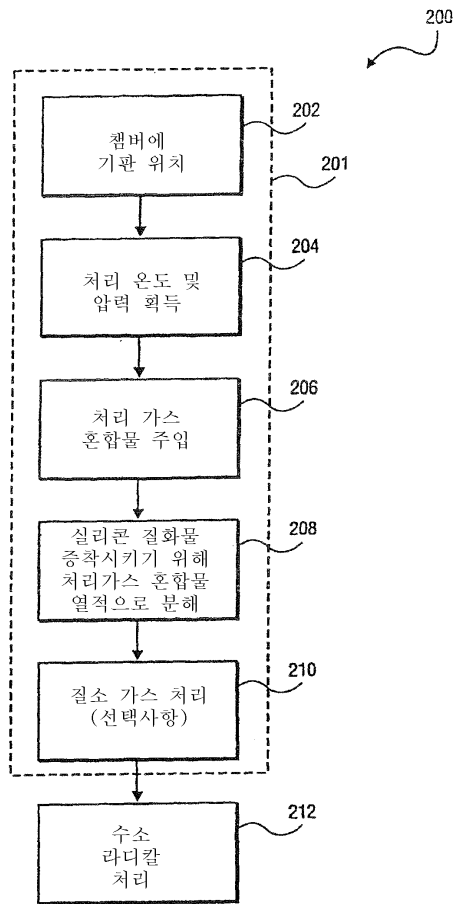
상기 프로세서/제어기는 상기 기판 지지체 상에 위치된 기판을 550°C 미만의 온도로 가열하고, 상기 기판 상에 실리콘질화물막을 형성하기 위해 상기 기판을 가열하면서 실리콘 함유 소스 가스 및 질소 함유 소스 가스 또는 실리콘/질소 함유 소스 가스를 상기 챔버에 제공하고, 상기 실리콘질화물막을 수소 라디칼로 처리하기 위해 수소 라디칼을 발생시키는 수단을 제어하는, 다수의 명령을 가지는 메모리를 포함하는, 실리콘질화물막 형성 장치.

도면

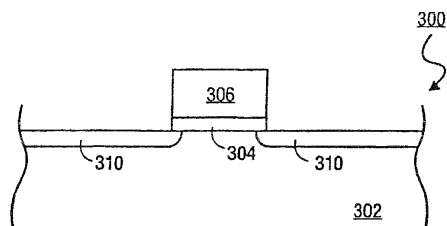
도면1



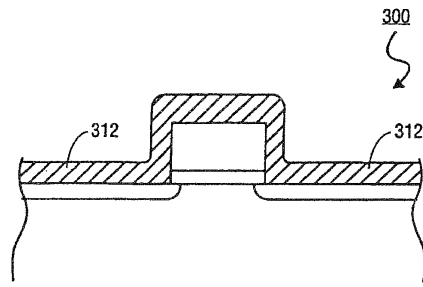
도면2



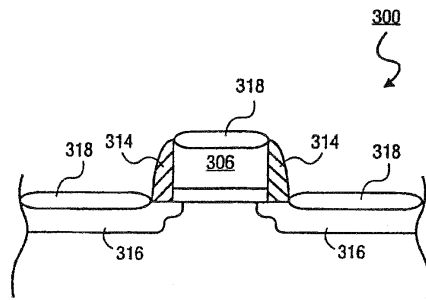
도면3a



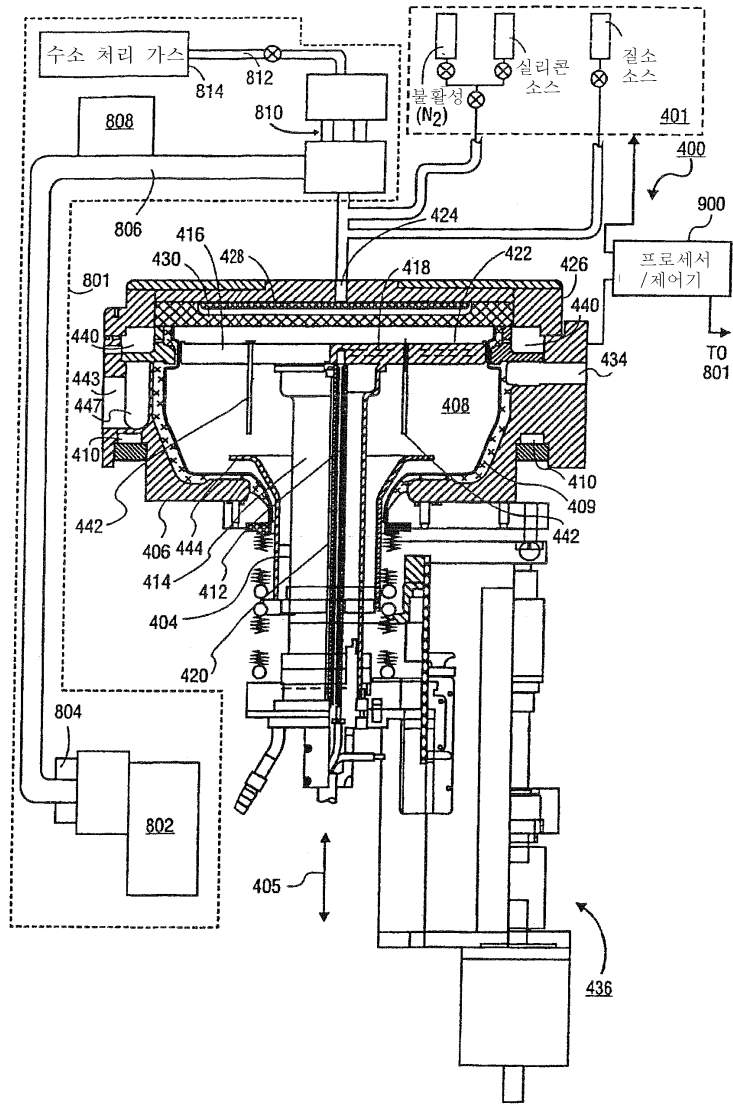
도면3b



도면3c



도면4



도면5

