

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.⁷
H01L 21/283

(11) 공개번호 10-2005-0022261
(43) 공개일자 2005년03월07일

(21) 출원번호 10-2004-0036346
(22) 출원일자 2004년05월21일

(30) 우선권주장 10/649,351 2003년08월26일 미국(US)

(71) 출원인 노벨러스 시스템즈, 인코포레이티드
미국, 95134 캘리포니아, 산 호세, 노스 퍼스트 스트리트 4000

(72) 발명자 이, 상협
미국, 캘리포니아 94539, 프레몬트, 41510 아프리코트 레인

레비, 칼 비.
미국, 캘리포니아 94024, 로스 알토스, 1150 포트랜드 애버 뉴

펠리스, 아론 알.
미국, 캘리포니아 95164, 산 호세, 피.오.박스 641731

웅세나쿰, 파냐
미국, 캘리포니아 94555, 프레몬트, 34599 앵커 드라이브

가오, 쥬웬
미국, 캘리포니아 94539, 프레몬트, 206 프라리에 도그 레인

콜린스, 조슈아
미국, 캘리포니아 94087, 썬니밸리, 1172 마라스키노 드라이브

아쉬타니, 카이한 에이.
미국, 캘리포니아 94087, 썬니밸리, 544 캐시메론 코트

성, 중환
미국, 캘리포니아 94024, 로스 알토스, 1695 주아레즈 애버 뉴

첸, 라나 히우루이
미국, 캘리포니아 95051, 산타 클라라, 623 살베르그 애비뉴

(74) 대리인 강명구

심사청구 : 없음

(54) 텅스텐 박막의 거칠기를 감소시키며 스텝 커버리지를 개선하는 방법

요약

서브스트레이트에 환원 가스 그리고 텅스텐-함유 가스를 교차 제공함으로써 반도체 서브스트레이트의 표면 상에 텅스텐 핵형성 박막이 형성된다. 이 방법의 각 사이클은 텅스텐 박막의 하나 이상의 단일 층을 제공한다. 이 박막은 등각이며 심지어 높은 종횡비 접촉 창에서도 개선된 스텝 커버리지를 갖는다.

대표도

도 3a

색인어

반도체 서브스트레이트, 텅스텐, 핵형성, 환원 가스, 텅스텐-함유 가스, 교차증착

명세서

도면의 간단한 설명

도 1의 패널 A는 150 내지 450°C 범위의 온도에서 2초간의 SiH₄의 40sccm 투여 그리고 2초간의 WF₆의 600sccm 투여 시의 핵형성 층 박막 두께와 PNL 사이클 사이의 상호관계를 도시한다.

도 1의 패널 B는 유사한 가공의 매개변수 하에서 성장 속도와 사이클의 수 사이의 상호관계를 도시한다.

도 2는, 전통적인 CVD 기술에 의하여 제조된 핵형성 층의 펄스 핵형성 층의 두께를 용스트롱으로 측정할 표면 거칠기(큰 검정 원); 펄스 핵형성 기술 350°C(작은 검정 원) : 펄스 핵형성 기술 250°C(빈 원) 그리고 TEOS 옥사이트 상의 CVD-TiN(100용스트롱)을 포함하는 반도체 서브스트레이트(사각)의 상호관계를 나타낸다.

도 3A는 본 발명의 실시예에 따른 방법의 공정의 흐름도이다. 여기서 질소 가스는 텅스텐 핵형성 층 그리고 텅스텐 벌크 층의 증착을 촉진하기 위하여 사용된다.

도 3B는 본 발명의 실시예에 따른 방법의 공정의 흐름도이다. 여기서 텅스텐 박막의 거칠기는 CVD 및 PNL의 교차증착에 의하여 제어된다.

도 3C는 본 발명의 실시예에 따른 방법의 공정의 흐름도이다. 여기서 붕소 희생층은 텅스텐 증착 공정을 시작하기 위하여 초기에 증착된다.

도 4A-4C는 성장하는 텅스텐 박막 스택(stack)을 나타내며, 여기서 교차하는 CVD 벌크 층과 PNL 캡 층이 증착된다.

도 5는 이중 전환(dual divert) 가스 박스의 실시예를 나타내는 개략도를 도시한다.

도 6은 플러시-마운트 샤워헤드(flush-mounted showerhead 601), 완전히 퍼지된 탑 플레이트(603), 그리고 환상 펌핑 포트(609)를 갖는 증착 스테이션 모듈의 개략도이다. 웨이퍼(607)은 불활성 가스 커튼(605)으로 둘러싸여 있다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 박막을 형성하는 것에 관련된다.

화학 증착(CVD)을 사용하는 텅스텐(W) 박막의 증착은 (i) 인접 금속 층(vias)과 (ii) 첫 번째 금속 층 그리고 실리콘 서브스트레이트(접촉: contact) 상의 장치 사이의 저 저항율(low resistivity) 전기 접속을 생성할 수 있으므로, 많은 반도체 제조 공정의 불가결한 부분이다. 텅스텐 증착 공정의 하나에서, 진공 챔버 내에서 웨이퍼는 공정 온도로 가열되고, 그 후 시드(seed) 또는 핵형성 층(nucleation layer)으로 알려진 텅스텐 박막의 얇은 층이 증착된다. 그 후, 비아(via) 또는 접촉(contact)은 수소(H₂)에 의한 텅스텐 헥사플루오라이드(WF₆)의 환원에 의하여 텅스텐으로 충전된다. ("플러그필(plugfill)" 또는 "벌크 층"). 벌크 층은 일반적으로 핵형성 층보다 빨리 증착되나 핵형성 층을 첫 번째로 형성함이 없이는 쉽고 확실하게 생성되지 않는다.

다양한 증착 방법이 얇은 텅스텐 핵형성 층을 형성하는 데 사용될 수 있다. 여기에는 화학 증착(CVD) 그리고 펄스 핵형성 층(PNL) 기술이 포함된다.

화학 증착(CVD) 기술에서, WF₆ 그리고 환원가스(예, SiH₄ 그리고/또는 H₂)는 동시에 반응 챔버로 도입된다. 이것은 서브스트레이트 표면에 텅스텐 박막을 연속적으로 형성하는 혼합 반응 가스의 연속적 화학반응을 생성한다. 전형적인 예에서, CVD 핵형성 층은 Ar-H₂ 담체 가스로 WF₆-SiH₄로부터 증착된다. 일부 경우, CVD 핵형성 성능은 담체 가스 혼합물에 H₂가 존재함으로써 증진된다. WF₆-SiH₄ 반응은 낮은 활성화 에너지 및 더 우수한 반응성에 의하여 WF₆-H₂ 반응보다 빠르다는 것에 유의하여야 한다. WF₆는 바람직하게는 SiH₄와 반응하고 SiH₄가 사라질 때까지는 H₂와 반응하지 않을 것이다.

펄스 핵형성 증착(PNL)기술에서, 환원제, 퍼지 가스(purge gas), 그리고 금속-함유 산화제의 펄스는 순차적으로 주입되고 반응 챔버로부터 퍼지된다. 이 공정은 요구되는 두께가 달성될 때까지 사이클 방식으로 반복된다. 이 공정은 참조문헌으로 편입된 미국 특허 제 09/975,074 호에 개시되어 있다. PNL은 이 문헌에 보고된 원자 층 증착 기술

(atomic layer deposition)과 유사하다. PNL은 일반적으로 ALD와 그것의 보다 높은 작업 압력 범위(1 Torr 이상) 그리고 보다 높은 사이클 당 성장 속도(사이클 당 1 단층 박막 성장 이상)의 면에서 구별된다. 본 발명에서, PNL은 반도체 서브스트레이트 상의 반응을 위하여 순차적으로 반응물을 첨가하는 사이클 공정을 광범위하게 구현한다. 그러므로 이 개념은 전통적으로 ALD로 지칭되는 기술을 구현한다.

PNL 텅스텐 증착 공정의 중요한 한 장점은 CVD 핵형성 층에 의한 텅스텐 성장에 비하여 10배까지 텅스텐 박막의 거칠기를 감소시킨다는 것이다. 평탄한 박막이 접촉 플러그의 최종 단계 동안에 평탄한 시임(seam)을 생성하므로, 거칠기는 플러그를 증진시키기 위하여 중요하다. 보다 거친 텅스텐 박막은 그들이 텅스텐 결정을 돌출시켜 클로징 시임을 폐쇄하고 피처(feature) 내의 큰 보이드(void) 영역을 가두기 때문에 바람직하지 않다. 플러그의 최종 단계 동안에 생성된 이 시임은 텅스텐 화학적 기계적 연마(CMP) 또는 에치백(etchback) 동안에 노출되며 구리 장벽-시드 및 전기도금과 같은 수반되는 증착 단계에 현저한 통합 문제를 야기한다.

PNL 텅스텐 증착의 다른 장점에는 (a) CVD에 비하여 뛰어난 스텝 커버리지, (b) 선형 장벽 둔감성(liner barrier insensitivity) (PNL 텅스텐은 Ti-TiN 박막의 커다란 변종과 잘 통합할 수 있다.) 그리고 (c) 많은 전통적인 ALD 공정에 비하여 사이클 당 다중 성장 층에 의하여 향상된 작업 처리량이 포함된다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

플러그를 위한 평탄한 텅스텐 층의 급속 증착을 위한 개선된 방법은 IC 제조 산업에 유익할 것이다.

발명의 구성 및 작용

본원 발명은 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 박막, 그리고 특히 텅스텐 핵형성 층을 포함하는 박막을 형성하는 방법을 제공한다. 일 실시예에서, 이 방법은 증착 공정에 질소를 사용하는 것을 강조한다. 예를 들면, 그러한 방법은 다음의 작업에 관련된다. : (a) 질소의 존재 하에 텅스텐-함유 가스 및 환원제와 반도체 서브스트레이트를 접촉시킴으로써 반도체의 서브스트레이트 상에 텅스텐 핵형성 층을 증착하는 단계; 그리고 (b) 반도체 서브스트레이트가 질소에 노출되는 CVD 공정에 의하여 텅스텐 핵형성 층 상에 텅스텐 벌크 층을 증착하는 단계. 다른 예로서, (a) 또는 (b)는 반도체 서브스트레이트에 유입되는 총 가스 부피의 1 내지 20% 범위(더욱 바람직하게는 약 1 내지 10 부피%)의 농도로 공정 가스로서 질소를 사용할 수 있다. 일부 경우에서, 작업(a)는 펄스 핵형성 층(PNL) 공정을 핵형성 층을 증착하기 위하여 사용한다.

본 발명의 또 다른 측면에서, 증착 방법은 적어도 세 분리된 증착 작업을 사용하는 공정에서 텅스텐 박막을 형성한다. : (a) 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 핵형성 층을 증착하는 단계; (b) 화학 증착(CVD) 공정을 사용하여 핵형성 층 상에 텅스텐 벌크 층을 증착하는 단계; 그리고 (c) 펄스 핵형성 층(PNL) 증착 기술을 사용하여 텅스텐 벌크 층 상에 텅스텐 캡 층을 증착하는 단계. 작업 (b) 그리고 (c)는 높은 성장 속도 그리고 CVD-W의 낮은 저항을 그리고 우수한 스텝 커버리지 그리고 PNL-W의 평탄성을 갖는 요구되는 두께의 박막을 형성하기 위하여 여러 번 반복될 것이다.

본 발명의 또 다른 측면에서, 이 증착방법은 증착 공정을 시작하기 위하여 반도체 서브스트레이트 상에 붕소 층을 형성한다. 이것은 반도체 서브스트레이트의 표면 조건의 변이에 대한 PNL 텅스텐 증착 공정의 감수성을 감소시키는 것으로 밝혀졌다. 붕소 공정은 다음의 작업에 의하여 특징지어 진다. : (a) 반도체 서브스트레이트 상에 붕소 층을 형성하는 단계; (b) 붕소 층을 텅스텐-함유 가스와 접촉시켜 이로써 반도체 서브스트레이트 상의 텅스텐 층에 텅스텐-함유 가스를 환원시키는 단계; (c) 환원제의 층을 형성하기 위하여 환원제와 반도체 서브스트레이트를 접촉시키는 단계 ; 그리고 (d) 환원제의 층과 텅스텐-함유 가스를 접촉시켜 이로써 반도체 서브스트레이트 상의 다른 텅스텐 층에 텅스텐-함유 가스를 감소시키는 단계. 작업 (c)와 (d)는 여러 사이클 반복될 수 있다. (a)에서 형성된 붕소 층은 이것의 증착이 자체-제어 공정이 아니므로, 어느 뚜게로도 증착될 수 있다. 그러나 바람직하게는 이것은 상대적으로 얇은 층으로 유지된다. 일부 실시예에서, (c)에 사용된 환원제는 시레인(silane) 또는 자체-제어 방식으로 반도체 서브스트레이트 상에 흡착되는 다른 물질이다.

전술한 방법에 포함된 다른 공정 작업은 단일 또는 다중-스테이션 증착 챔버 내의 증착 스테이션에 반도체 서브스트레이트를 배치하는 것 ; 그리고 예를 들면 증착 스테이션에서, 반도체 서브스트레이트를 대략 250 내지 475°C로 가열하는 것을 포함한다. 또한, 서브스트레이트를 환원제 및/또는 텅스텐-함유 가스와 접촉시킨 후, 증착 챔버는 그러한 가스로 퍼지된다.

환원 가스의 예시에는 SiH₄, Si₂H₆, H₂, B₂H₆, SiH₂Cl₂ 그리고 이들의 조합이 포함된다. 환원 가스는 또한 희 가스(noble gas), 수소, 질소 또는 이들의 혼합물을 포함한다.

전술한 방법은 요구되는 두께가 얻어질 때까지 반복될 수 있으며, 그리고/또는 요구되는 IC를 제조하기 위하여 더 이상의 단계를 포함할 수 있다.

본원 발명의 이러한 그리고 다른 특징 및 장점은 이하에서 도면과 관련하여 설명된다.

상세 설명

본원 발명의 실시예들은 전술한 도면들을 참조하여 이하에서 설명될 것이다. 도면들은 오직 본원 발명의 상세한 설명 및 이해를 돕기 위하여 단순화되어 있다. 여기서 개시되고 설명된 특정 방법 및 또는 구조의 변형 또는 수정 또는 변화가 가능하다는 것은 당업자에게 명백하다. 본원 발명의 가르침에 의하는 그러한 모든 변형, 수정, 변화는 본원 발명의 기술적 사상 및 범위 내에 있으며, 이들에 의하여 이러한 가르침을 기술을 진보시킨다.

개요

본원 발명은 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 층을 형성하는 개선된 방법을 제공하는 것이다. 이것은 텅스텐 증착 공정을 제어하기 위하여 다양한 기술을 사용함에 의하여 수행된다. 이들은 텅스텐의 핵형성의 제어를 위하여 공작 가스로서 질소를 사용하는 것, 텅스텐 층을 형성하기 위하여 PNL 및 CVD를 교차시키는 것, 그리고 텅스텐 전구체와 반응시키기 위하여 붕소 희생층을 사용하는 것을 포함한다. 이들 다양한 방법을 자세히 설명하기 전에, 적절한 PNL 공정의 몇 가지 특징이 제공될 것이다.

PNL은 반응물을 챔버 내로 주입 또는 챔버로부터 제거함으로써 반도체 서브스트레이트 상에 순차적으로 각각 약 하나 또는 그 이상의 텅스텐 단일 층의 두께인 다수의 매우 얇은 텅스텐 서브-층을 증착시킴으로써 등각의 (conformal) 텅스텐 핵형성 층을 제조한다. 일 실시예에서, PNL 방법은 다음의 작업을 포함한다. : (a) 반도체 서브스트레이트를 증착 챔버 내의 증착 스테이션에 배치시키는 단계; (b) 반도체 서브스트레이트를 증착 스테이션에서 PNL 방법에 적절한 온도로 가열하는 단계; (c) 상기 증착 챔버에 환원가스를 유입시킴으로써 약 1 또는 그 이상의 단일 층의 환원가스가 상기 서브스트레이트 상에 증착되는 단계; 그리고 (d) 텅스텐-함유 가스를 상기 증착 챔버에 유입시키는 단계. 환원 가스는 텅스텐-함유 가스와 반응하여 텅스텐 층을 형성하고, 또는 보다 적절하게는 다중 서브-층 텅스텐 박막의 텅스텐 서브-층을 형성한다. 통상적으로, 이 방법은 또한 환원 가스를 증착 챔버로부터 텅스텐-함유 가스의 도입 전에 퍼지시키는 것을 포함한다. 이것은 또한 추가적으로 텅스텐-함유 가스의 도입 후의 퍼지를 포함한다. (d). 일반적으로, 이 방법은 환원 가스의 유입, 퍼지, 텅스텐-함유 전구체의 유입, 그리고 퍼지의 다중 사이클을 포함한다. 각각의 사이클은 텅스텐 박막의 얇은 서브-층을 증착한다. 이 공정은 요구되는 수준으로 텅스텐 박막의 총 두께가 도달 할 때 까지 계속된다.

바람직한 실시예에서, PNL 동안에 증착 챔버의 압력은 약 1 내지 300 Torr로, 보다 바람직하게는 약 20 내지 60 Torr 로 유지된다. 그리고 바람직하게는, 서브스트레이트의 온도는 PNL 동안 약 200 내지 475°C, 그리고 보다 바람직하게는 약 250 내지 350 °C 로 유지된다.

펄스 핵형성 공정 전에, 반도체 서브스트레이트는 선택적으로 핵형성을 지연시키지 않으면서 텅스텐의 성장을 증가시키는 가스에 노출된다. 이 단계는, "개시 적심(initiation soak)" 단계로 불리며, 서브스트레이트를 약 1 내지 약 60 초 동안 플라즈마 또는 가스 상태의 SiH_4 , B_2H_6 , Si_2H_6 , H_2 , Ar_2 , N_2 , 또는 O_2 , 또는 이들의 조합과 같은 가스에 노출시키는 것을 포함한다. 이 플라즈마 상태는 무선 주파수 또는 마이크로파 에너지를 사용하여 제조될 수 있다. 이것은 서브스트레이트의 표면의 선조정에 사용된다. 설명과 같이, 적심 단계의 예는 WF_6 - SiH_4 PNL 전의 단일 B_2H_6 -Ar(또는 Ar- H_2) 펄스이다. 이것은 환원제(붕소)의 층을 웨이퍼 표면에 생성하며, 이것은 웨이퍼(대체로 Ti-TiN 층)의 가공 전에 적용되는 접착 층의 조건에 다소간 관계없이 텅스텐 핵형성을 위한 최적의 표면을 제공함으로써 핵형성 지연을 감소시키거나 제거할 수 있다. B_2H_6 담금 단계가 없는 경우, 공정은 마치 담금 단계와 같이 작용하는 극히-긴 개시 SiH_4 투여를 사용해야 한다. 이 담금을 개시 사이클로 볼 수 있다는 점에 유의하여야 한다. 그러므로 본 발명은 투여(dose) 시간이 사이클 수의 작용으로 변형되는 공정을 예상한다는 점에 유의해야 한다. 특정 예시에서, 긴 개시 SiH_4 또는 B_2H_6 투여가 핵형성 밀도(단위 면적 당 핵의 개수)를 개선하고 핵형성 지연을 감소시키기 위하여 사용된다.

SiH_4 , B_2H_6 , Si_2H_6 , SiH_2Cl_2 , H_2 , 또는 이들의 조합과 같은 다양한 환원제가 펄스 핵형성 공정에 사용될 수 있다. 일 실시예에서, 환원 가스는 아르곤 또는 아르곤-수소 담체 가스 혼합물과 함께 SiH_4 과 같은 시레인을 포함한다. 전통적인 CVD 반응기를 사용하며 300mm 웨이퍼 상에서 수행되는 일부 예시적 공정에서, 환원 가스는 대략 100 내지 400, 보다 바람직하게는 대략 100 내지 200, 그리고 가장 바람직하게는 약 200 sccm (standard cubic centimeter/sec)의 유입속도로 공급된다. 이 유입은 미리 결정된 시간동안 계속되며, 대체로 약 5 초 또는 그 미만이고 바람직하게는 약 102초, 그리고 환원 가스의 유입은 정지된다. 약 0.5 초의 가스 라인 장전 시간(charge time) 이 챔버 내로 가스의 방출 전에 증착 챔버에 이르는 가스 유입 라인을 가압하기 위하여 사용된다. 챔버 내에서 환원 가스 유입 시간이 완결됨에 따라, 챔버로의 가스 유입 라인은 폐쇄되며 그 후 약 0.5초 동안 러프 펌프 라인을 사용하여 소개된다. 이것은 가스 라인의 퍼지 시간이다. 이 환원 가스의 라인 장전 및 퍼지 시간은 챔버 퍼지 시간과 중복될 수 있다.

대체로, 반응 챔버는 텅스텐-함유 가스의 유입 시작 전에 퍼지된다. 퍼지는 바람직하게는 희 가스, 또는 질소, 또는 산소, 또는 이들의 혼합물을 고정된 압력에서 증착 챔버로 도입함으로써 수행되며, 그리고/또는 증착 챔버 내의 증기 상이 시약 투여 단계 그리고 그 후 다음의 시약 투여 단계의 시작 전에 증착 챔버를 재-가압하는 동안 그것의 세팅-시점으로부터 증착 챔버의 압력을 감소시킴으로써 퍼지된다.

WF_6 , WCl_6 , 그리고 $\text{W}(\text{CO})_6$ 과 같은 다양한 텅스텐-함유 가스가 펄스 핵형성 공정에 사용된다. 바람직하게는 텅스텐-함유 가스는 질소 EH는 불활성 담체 가스와 함께 WF_6 를 포함한다. 300-mm 서브스트레이트를 사용하는 전형적인 반응기에서, 텅스텐-함유 가스 유입 속도는 증착 스테이션 당 대략 200 내지 900sccm; 바람직하게는 약 200 내지 400 sccm, 그리고 가장 바람직하게는 약 300 sccm 이다. 가스의 유입은 대체로 증착되는 웨이퍼의 표면적을 기준으로 하여 유의해야 하며 300-mm 웨이퍼의 특정 경우는 순전히 설명의 목적이다. 이 유입은 미리 결정된 시간, 대체로 약 5초 이하 그리고 바람직하게는 약 2초 동안 계속되며, 환원 가스의 유입은 정지된다. 일반적으로 약 0.5 내지 1.5 초의 라인 장전이 사용된다. 텅스텐-함유 가스의 유입 시간이 챔버 내에서 완결됨에 따라, 챔버로의 가스 라인은 폐쇄되며 그 후 약 0.5초 동안 러프 펌프 라인을 사용하여 소개된다. 이것은 가스 라인 퍼지 시간이다. 이 텅스텐-함유 가스의 라인 장전 및 퍼지 시간은 챔버 퍼지 시간과 중복될 수 있다. 텅스텐 증착은 환원 가스가 흡착된 표면상에서만 일어나는 것으로 밝혀졌다.

아르곤과 같은 희 가스 또는 질소 또는 수소와 같은 다른 가스, 또는 이들의 조합이 "배경 가스(background gas)"로서 증착 스테이션에 환원 가스 또는 텅스텐-함유 가스와 동시에 제공될 수 있다. 일부 실시예에서, 배경 가스의 유입

은 연속적이며, 즉, 텅스텐-함유 가스 및 환원 가스와 같이 스위치 온 및 오프 되는 것이 아니다. 이러한 방식으로 배 경 가스는 또한 퍼지 가스로 작용할 수 있다.

전술한 바와 같이 PNL을 사용하는 경우 전통적인 ALD 공정을 사용하여 얻을 수 있는 2.5Å 미만의 성장 속도에 비 하여, 사이클 당 텅스텐의 성장 속도는 대체로 약 8 내지 12 옹스트롱, 그리고 바람직하게는 약 10 내지 12 이다.

여기서 전술한 것과 같은 PNL 공정으로부터의 결과물인 텅스텐 박막은 정각의 핵형성 층(또는 이하에서 설명되는 " 캡 층")으로서 사용될 수 있다. 여기서 설명된 PNL 방법을 사용하여, 75% 초과; 바람직하게는 80% 초과; 그리고 보 다 바람직하게는 90% 초과;의 스텝 커버리지를 갖는 핵형성 층을 얻을 수 있다. 또한, 이 스텝 커버리지의 수준은 10:1 초과, 또는 20:1 또는 그 이상의 종횡비를 갖는 접촉을 포함하는, 그러나 이에 제한되지 않는, 심지어 높은 종 횡비 접촉층(aspect ratio contacts)에서 반복적으로 그리고 일상적으로 제조될 수 있다.

도 1의 패널 A는 핵형성 층 박막 두께와 PNL 사이클 사이의 상호관계를 도시한다. 도 1의 패널 B는 성장 속도와 사 이클의 수 사이의 상호관계를 도시한다. 증착은 250 내지 350°C의 서브스트레이트 온도에서 수행되었다. 핵형성 층 은 일반적으로 약 25 옹스트롱 초과; 그리고 바람직하게는 약 25 내지 100 옹스트롱의 두께를 가질 것이다.

도 2는, 원자현미경으로 측정된 결과 전통적인 CVD 기술에 의하여 제조된 텅스텐 박막보다 여기서 개시된 방법에 의 하여 제조된 펄스 핵형성 층이 실질적으로 덜 거칠며(그리고 더 작은 결정을 갖는다)

일부 실시예에서, 시약 가스들은 담체 가스 혼합물이 사이클 수의 작용에 의하여 변경되는 것과 같이 사이클 수의 작용에 의하여 교차된다. 특정 실시예에서, 담체 가스는 일정 방식으로 변경된다. 여기서, 단기 초기 핵형성 공정의 CVD 성분을 피하기 위하여 담체 가스는 하나의 또는 그 이상의 사이클 동안 아르곤만을 포함하고 그 후 하나 또는 그 이상의 텅스텐의 단일 층이 표면을 완전히 코팅 한 후에 그러나 요구되는 총 핵형성 박막의 두께가 증착되기 전 에 질소를 혼합물에 도입함으로써 담체 가스가 변경된다. 여기서 설명되는 바와 같이, 질소는 텅스텐 핵형성을 저해 할 것이며 만약 너무 일찍 도입되는 경우 불규칙한 핵형성 및 거친 박막을 초래할 수 있다. 나중에 적용되는 경우, 커 다란 텅스텐 결정의 성장을 지연지킴으로써 질소는 실질적으로 최종 박막의 거칠기를 감소시킬 수 있다.

접촉에서 12:1의 종횡비와 96%의 스텝 커버리지를 갖는 100 옹스트롱의 두께의 대표적인 텅스텐 핵형성 층이 다음 과 같이 300-mm 실리콘 웨이퍼 상에 제조될 수 있다. :

예열 10초

SiH₄ 200 sccm/증착 스테이션 2초

WF₆ 300 sccm/증착 스테이션 2초

수소 4750 sccm/증착 스테이션 연속적 유입

아르곤 13000sccm/증착 스테이션 연속적 유입

300°C에서 단계들의 14 사이클

텅스텐과 환원제 투여 사이의 퍼지 단계는 희 가스, 수소, 또는 질소(또는 이들의 조합)를 증착 챔버에 도입함으로써 수행될 것이다.

많은 실시예에서, 펄스 핵형성 공정은 CVD 공정에서 H₂ 및/또는 SiH₄와 WF₆(또는 다른 텅스텐-함유 가스)를 사용 하는 보다 전통적인 벌크 증착이 수반된다. 그러므로 본 발명의 방법은 텅스텐 박막을 증착하기 위한 적절한 조건 하에서 WF₆와 동시에 SiH₄ 및/또는 H₂와 핵형성 층을 접촉시킴으로써 핵형성 층의 꼭대기에 CVD에 의하여 텅스 텐 박막을 증착시키는 작업을 포함한다.

더욱이, 담금 작업(전술한)이 펄스 핵형성 공정에 수반되어 그리고 CVD 공정 전에 보충될 수 있다. 담금 작업은 서 브스트레이트를 가스의 또는 플라즈마 상태의 N₂, H₂, O₂, Si₂H₆, B₂H₆, 또는 이들의 조합과 같은 가스에 노출시키 는 것을 포함할 수 있다.

만일, 다중의 웨이퍼가 사용되는 병렬적 공정을 가능하게 하는 다중-스테이션 반응기가 사용되는 경우, 교차 반응 물 증착 공정은 일부 스테이션에서, 동시에 다른 스테이션에서 변경된 증착 공정의 완결 후에 WF₆-SiH₄ CVD, 그 리고 그 후 텅스텐 충전의 완결을 위한 최종 증착 스테이션에서 동시에 WF₆-SiH₄ CVD가 일어날 수 있다.

특히, 여기서 설명된 펄스 교차 증착 방법에서, 다중-스테이션 증착 시스템의 첫 번째 1, 2, 3 또는 그 이상의 스테 이션에 도입된 웨이퍼는 그 후 WF₆ 및 H₂의 반응에 의해 텅스텐이 증착되는 스테이션으로 이동된다. 이 WF₆ 및 H₂ 가스는 고속의 화학증착에 의하여 우수한 캡-충전을 얻기 위하여 동시에 도입된다. (1998년 8월 18일 등록된 미국 특허 제 5,795,824 참조. 여기에 참조문헌으로 편입됨). 또한, 불활성 가스가 증착 스테이션으로 유입될 수 있다. 이 러한 다중-스테이션 시스템이 사용되는 경우, 증착 온도는 여기서 설명된 교차-공정 증착 또는 WF₆-SiH₄ CVD 및

/또는 WF₆-H₂ CVD와 관련된 수반되는 단계를 위하여 독립적으로 최적화 될 수 있다. 이 공정은 다중-스테이션 시스템의 모든 대(pedestals)가 아닌 일부에서 다른 대로 동시에 유입하는 수소 및 WF₆ 가스로 수행될 수 있다.

하나의 기술로서, 이 공정은 투여 및 퍼지 모두 동안 연속적인 회 가스, 수소, 그리고/또는 질소 유입으로 수행될 수 있다.

하나의 기술로서, 챔버 내의 잔여 텅스텐 잔여물로부터 수반되는 층을 보호하기 위하여 텅스텐-함유 가스로 최종 투여 후 추가적 SiH₄ 투여 단계를 갖는 것이 유리하다.

본 발명의 다른 측면에 따르면, 본 발명의 펄스 핵형성 층은 구리 또는 다른 금속의 수반되는 증착을 위한 시드 층으로서 제공될 수 있다. 또한, ONL-W는 증착되거나 전기 도금된 구리 박막 하에서 얇은 W 층의 경우에 구리 확산의 장벽이 될 수 있다는 것에 유의하여야 한다. PNL-W 자체는 반도체 장치에서 대상의 가장 강유전체에 부착하기 위한 접착층을 요구한다. 이 접착층은 TiN, Ti(Si)N, WN, W(Si)N, W(C)N, 또는 다른 것에 의하여 제조될 수 있다. PNL-W를 포함하는 층상의 Cu 장벽의 경우에, 다른 층들의 진공 통합은 중요할 수 있다. 이 통합은 단일 챔버 내의 다중 증착 스테이션에 의하여 또는 단일 진공 웨이퍼 취급 시스템 상에 다중 챔버를 고정함으로써 달성된다. 확산 층들은 층 사이의 인터페이스를 가로질러 그들의 경로를 개척해야 하므로 다중 층을 갖는 장벽은 개선된 장벽 속성을 초래한다. 구리의 경우, 인터페이스에 금속성 W를 갖는 것이 구리 접착 그리고 또한 직접적 전기 도금을 위하여 인터페이스에 금속 질화물을 갖는 것보다 낫다.

더욱이, 당업자에 의하여 단일 또는 이중 다마신(Damascene) 기술과 같은 인터커넥트(interconnect)를 형성하는 다양한 기술, 또는 텅스텐 또는 알루미늄과 같은 전도성 물질로 오프닝을 충전하는 것과 관련되는 낮은 저항성 접촉 또는 플러그를 형성하는 다른 전통적 기술이 사용될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 더욱이, 본 발명은 반도체 서브스트레이트 상에 형성된 전도성 또는 도프(dope)된 영역의 꼭대기의 접촉 및/또는 비아에 시드 층을 형성하기 위하여 사용된다.

발명의 효과

텅스텐 거칠기의 감소를 위한 PNL 및/또는 CVD 중에 질소의 첨가

본 발명의 한 측면은 반응기 내의 공정 가스 흐름에 질소를 첨가함으로써 텅스텐의 거칠기와 스텝 커버리지를 개선하는 방법을 제공하는 것이다, 질소의 첨가는 PNL-W 텅스텐 핵형성 및 WF₆-H₂ CVD 텅스텐 박막 모두의 거칠기를 감소시킬 수 있다. 이론에 역매이지 않고, 질소는 성장하는 텅스텐 표면상의 특정 부분에서 텅스텐 핵형성을 억제함으로써 작용하는 것으로 보인다. 특히, WF₆-H₂ CVD와 새로운 텅스텐 결정의 핵형성은 질소-노출 텅스텐에서 강하게 억제되는 것으로 보인다.

일 실시예에서, 본 발명의 텅스텐 증착 방법은 반응 챔버에 질소 가스를 유입하는 작업을 포함한다. 질소 가스는 서브스트레이트가 챔버에 배치되고 가열되기 전에, 그리고 동시에, 그리고 그 후에 유입될 수 있다. 이것은 반응 가스가 반응 챔버에 도입되기 전에, 그리고 동시에 그리고 그 후에 유입될 수 있다. 바람직한 실시예에서, 질소는 반도체 서브스트레이트가 반응 챔버에 배치되고 공정 온도로 가열된 후에 그리고 환원 가스 또는 펄스 핵형성 공정의 가스가 챔버로 도입된 후에 유입된다.

질소는 모든 펄스 핵형성 공정 사이클이 완결되기 전에, 그리고 동시에 또는 그 후에 차단될 수 있다. 다중 증착 스테이션을 사용하는 바람직한 실시예에서, 질소는 마지막 펄스 핵형성 공정 사이클 전에 차단된다. 만일 텅스텐 증착이 시작되기 전에 적용되는 경우, 질소는 텅스텐 핵형성을 방지할 수 있기 때문에, 질소 없이 텅스텐 증착을 시작하도록 하는 것은 중요하다. 이것은 노출된 반도체 서브스트레이트의 단위 면적당 다수의 텅스텐 핵을 생성할 수 있다. 질소 유입은 텅스텐 증착이 표면에 텅스텐 핵의 세트를 생성한 후에 시작되고 증착의 정지 전에 정지될 수 있다. 만일 질소가 다중-증착 스테이션의 첫 번째 스테이션에서 증착의 종결 후에 계속 유입되는 경우, 이것은 그 후 그 웨이퍼가 두 번째 스테이션으로 유도된 후 W 증착의 시작을 저해할 것이다. W 증착 후의 질소의 적용은 본질적으로 유해한 것이 아니지만, 단일 챔버 내의 다중 증착 스테이션의 하나의 이행에서, 하나의 스테이션에서 증착 정지 후 질소의 유입은 다음 스테이션에서 증착 전 질소의 유입과 같을 것이다.

도 3A는 본 발명의 실시예에 따른 텅스텐 박막의 형성 동안 질소 가스를 사용하는 공정의 흐름을 도시한다. 이 공정은 반도체 서브스트레이트가 증착 챔버에 배치되는 (301)에서 시작한다. 설명된 바와 같이 다양한 증착 챔버가 본 발명의 용도에 적합하다. 일부 예시가 여기에서 설명된다. 일반적으로, 챔버는 가스의 유입 속도, 챔버 압력, 그리고 서브스트레이트의 온도가 제어를 허용해야 한다. (303)의 작업에서, 이 공정은 서브스트레이트를 텅스텐 핵형성 층 형성을 위하여 요구되는 온도로 가열한다. 지시된 바와 같이, 이것은 바람직하게는 약 200 내지 475°C의 범위이다.

서브스트레이트가 적절히 배치되고 가열된 후, 이 공정은 그 위에 얇은 텅스텐 핵형성 층을 형성한다. 도 3A의 블록 (305) 참조. 이 공정은 서브스트레이트가 질소에 노출되는 동안 수행된다. 이 핵형성 층은 질소가 사용되는 한 PNL 공정에 의하여 생성된다. 일반적으로, 본 발명에 적용된 PNL "핵형성 층"은 25-100 옹스트롬 두께이며, 10:1 종횡비 접착층의 약 90% 이상의 스텝 커버리지를 제공하고, <10%의 핵형성 층 두께를 가진다. 이것은 핵형성 층의 형성을 위하여 무슨 기술(CVD 또는 PNL)을 사용하였는가에 무관하게 적용된다. CVD 핵형성을 위하여 박막은 적어도 250-450Å 두께여야 한다. 핵형성의 스텝 커버리지는 CVD로 약 40-80%이다.

지시된 바와 같이, 질소는 반응가스가 반응 챔버로 들어가기 전에, 동시에 또는 후에 도입될 것이다. 설명된 바와 같이, 핵형성 층 증착이 시작되기 전에 질소를 도입하는 경우, 초기의 핵형성은 지연될 것이다. 그러므로 때때로 증착 공정이 시작된 후에야 질소를 도입하는 것이 바람직할 것이다. 이것은 우수한 박막 두께 균일성과 함께 짧은 핵형성 지연을 초래한다고 밝혀졌다. 대체로 이것은 질소가 환원제 및 WF₆ 투여가 완결된 후까지는 도입되지 않는다는 것

을 의미한다. 일부 상황에서는 다중 WF₆ 그리고 SiH₄ 사이클(예, 4 내지 6)이 완결될 때 까지, 그러므로 핵형성이 완결되고 W 성장이 웨이퍼 상에 성장하기 시작할 때까지 기다릴 것을 요구할 수도 있다. 일부 경우, 핵형성 증착의 시작(텅스텐이 실제로 증착되기 시작하는 때)과 질소 유입의 시작 사이의 지연이 바람직하게는 약 0.25-1.00초 이내가 바람직하다는 것이 밝혀졌다. 바람직하게는, 핵형성 증 상 동안의 질소 유입 속도는 증착 스테이션 당 총 가스 유입 부피의 약 1-20%이며, 보다 바람직하게는 약 1-10%이다. 지시된 바와 같이, 다음 스테이션에서 핵형성이 방해되지 않도록 한 스테이션에서 증착의 종결 전에 질소의 유입을 차단하는 것은 중요하다.

다른 접근은 질소를 온 그리고 오프하여 텅스텐 전구체가 유입되는 경우에만 유입되고 퍼지 그리고 환원제 투여 시간 동안 오프되는 것과 관련된다. 이 실행에서, 질소는 각 텅스텐 전구체 투여의 시작 직후에 유입되기 시작하고 각 텅스텐 전구체 투여의 종결 직전에 정지된다.

핵형성 층이 지시된 바와 같이 블록(305)에서 형성된 후, 다음 공정 작업은 핵형성 층 상에 벌크 텅스텐 층을 형성한다. 블록(307) 참조. 예를 들면, 벌크 텅스텐 층은 CVD 공정 및 하나 이상의 수반되는 공정 가스의 조합을 사용함으로써 생성된다. : WF₆-H₂ 또는 WF₆-B₂H₆ 또는 W(CO)₆. 핵형성 층 증착과 같이, 질소는 공정 가스가 반응 챔버에 들어가기 전, 동시, 또는 그 후에 도입될 것이다. ; 바람직하게는 증착 공정이 시작된 후에야 도입된다. 이것은 핵형성 층에서와 동일한 이유이다. : 우수한 박막 두께 균일성과 감소된 핵형성 지연. 또한, 벌크 층 증착의 시작과 질소 유입의 시작 사이의 지연은 예를 들면, 바람직하게는 약 0.25 - 1초이다. 핵형성 층 증착과 같이, 벌크 층 상 동안의 질소 유입 속도는 증착 스테이션 당 총 가스 유입 부피의 약 1-20%이며, 보다 바람직하게는 약 1-10%이다.

도 3A에 도시된 방법은 핵형성 층 증착 및 벌크 층 증착 모두에서 질소를 요구하지만, 본 발명은 질소의 측면에서 이러한 방법에 제한되지 않는다는 것에 유의하여야 한다. 질소를 핵형성 층 그리고 벌크 층 증착의 하나 또는 다른 작업에 적용하는 것이 충분할 것이다.

스텝 커버리지 그리고 거칠기 감소를 위한 다중-층 PNL

전술한 바와 같이, PNL은 예를 들면, WF₆-H₂로부터 CVD로 증착될 수 있는 것에 비하여 낮은 박막 거칠기와 우수한 스텝 커버리지를 제공한다. 그러나 반도체 가공 장치의 전형적 증착 조건(약 300-500°C, dir 10-300 Torr 총 압력)에서 PNL에 의한 텅스텐 증착 속도는 CVD에 비하여 현저히 낮다. 본 발명의 실시예에 따르면, 두 박막이 PNL-W 및 CVD-W의 교차 층 증착에 의하여 PNL에 비교할 만 한 스텝 커버리지 및 거칠기와 CVD에 비교 할 만 한 성장 속도를 갖는 텅스텐 박막을 제조하기 위하여 유리하게 조합될 수 있다. 감소된 PNL-W 발명의 거칠기는 PNL-W 상에 증착된 CVD-W를 위하여 거칠기를 감소시키도록 템플릿으로서 작용한다. 이 장점은 수백 옹스트롱의 CVD-W 증착 후에 없어지기 시작하나, PNL-W 그리고 CVD-W의 교차 층은 이것을 새롭게 한다.

이 다중-층 증착을 위한 하나의 예시적 공정은 도 3B에 도시된다. 도시된 바와 같이, 이 공정은 반도체 서브스트레이트를 전술한 바와 같이 증착 챔버에 배치시키는 것으로 시작한다. 블록 (309) 참조. 다음, 서브스트레이트는 전술한 바와 같이 요구되는 온도로 가열된다. 블록(311) 참조.

다음, 텅스텐 핵형성 층은 CVD 또는 PNL에 의하여, 서브스트레이트를 전술한 바와 같이 질소에 노출하거나 노출하지 않고 형성된다. 블록 (313) 참조. 그 후, 벌크 텅스텐 층이 핵형성 층 위에 형성된다. 블록(315)참조. 벌크 층은 적절한 CVD 공정(예, WF₆-H₂ 또는 WF₆-B₂H₆ 또는 W(CO)₆)을 사용하여, 질소에 서브스트레이트를 노출하거나 노출하지 않고 형성될 수 있다.

지시된 바와 같이, 벌크 층은 "평탄한" 핵형성 층 위에 형성되므로 감소된 거칠기를 가질 것이다. 그러나 일정량의 증착 후, 벌크 층 결정은 비교적 크게 성장하고 텅스텐 박막의 거칠기는 증가한다. 이것을 방지하기 위하여, 텅스텐이 이 공정에 의하여 일정 두께(예 500 옹스트롱)로 증착된 후에 벌크 층의 성장은 종결될 것이다. 그 후, 텅스텐 "캡 층"이 텅스텐 벌크 층 상에 형성된다. 공정 블록(317) 참조. 이것은 텅스텐 박막의 전체적 거칠기를 감소시키며 이것의 스텝 커버리지를 개선한다.

텅스텐 캡 층을 형성하기 위한 PNL 공정의 한 예시는 다음과 같이 진행된다. 초기에, 공정 시스템은 환원 가수를 증착 챔버로 유입하여 약 하나 또는 그 이상의 환원 가수의 단일 층이 서브스트레이트의 표면에 흡착되거나 또는 증착된다. 다음, 이 시스템은 환원 가스를 챔버로부터 퍼지한다. 그 후, 이것은 텅스텐-함유 가스를 챔버로 유입하여 흡착된 환원가스와 반응시켜 얇은 텅스텐 박막을 형성한다. 이 작업은 요구되는 텅스텐의 두께(예, 100 옹스트롱)가 얻어질 때 까지 반복된다. 캡 층은 질소와 함께 또는 질소 없이 증착된다는 점에 유의하여야 한다. 챔버 퍼지는 반응 가스(WF₆, SiH₄, B₂H₆, N₂)의 차단에 의하여 수행되며, 반면 담체 가스(Ar, H₂) 유입은 계속된다. 담체 가스는 몇 초 동안 잔여 반응 가스를 공정 챔버로부터 끌어내기 위하여 유입된다. 챔버 퍼지 동안, 챔버는 일정한 압력으로 유지될 수 있으며, 또는 챔버의 압력을 증착 압력(대체로 40 토르)에서 보다 낮은 압력(1-10 토르) 그리고 다시 공정 압력 (40 토르)로 순환시킬 수 있다. 이 압력 순환은 펌프-퍼지를 제공한다. 이것은 일정 압력 퍼지보다 챔버로부터 잔여 반응 가스를 제거하는데 보다 효과적이지만, 압력을 순환하는데 수 초가 걸리며 이것은 작업 산출량에 손실을 줄 수 있다.

캡 층이 요구되는 두께로 증착된 후, 공정은 완결된다. 다른 방법으로는, 추가적인 CVD 벌크 층이 캡 층의 위에 전체 증착 속도를 증가시키기 위하여 증착될 수 있다. 그러한 벌크 층은 박막의 두 번째 텅스텐 벌크 층이며, 박막의 마지막 층일 것이다. 다른 방법으로는, 다른 PNL 캡 층이 두 번째 벌크 층 위에 증착될 수 있다. 그러므로 하나 또는 그 이상의 추가적 벌크 층과 캡 층 증착이 첫 번째 캡 층 후에 증착되는 것이 가능하다. 이것은 최종 박막 스택의 전체 거칠기와 스텝 커버리지를 더욱 최적화 한다.

도 3B의 결정 작업(319)은 추가적 벌크-캡-층 증착 사이클이 요구되는 텅스텐 박막의 전체 두께를 얻기 위하여 필요에 따라 수행될 것이다. 전형적인 상황에서, 이 공정은 미리 정해진 벌크 층 증착과 PNL 캡 층 증착의 교차 숫자를 가질 것이다. 각각의 그러한 증착은 미리 정해진 두께의 것이다. 일 실시예에서, 초기 텅스텐 핵형성 층은 약 10-

1000Å의 두께로 PNL 공정을 사용하여 증착된다. 각 텅스텐 벌크 층은 약 100-1000Å의 두께로 CVD를 사용하여 증착된다. 그리고 각 텅스텐 캡 층은 약 50-200Å의 두께로 PNL 공정을 사용하여 증착된다. 일반적으로, PNL-W 그리고 CVD-W 층은 일정하거나 또는 박막 스택의 각 텅스텐 층에서 다양하다. 다른 접근에서, 증착되는 개별적 층의 숫자는 전체 텅스텐 박막이 요구되는 두께, 스텝 커버리지, 거칠기 등에 도달하였는지를 지시하는 하나 또는 그 이상의 피드백 또는 모니터 기술을 사용하여 공정 중에 결정된다.

도 3B는 텅스텐 캡 층이 텅스텐 박막 스택을 종결하는 것을 도시한다. 그러나 일반적으로, CVD 텅스텐 벌크 층 또는 PNL 텅스텐 캡 층은 스택을 종결한다. 특정 실시예에서, PNL 텅스텐이 박막 스택의 꼭대기 그리고 바닥에 적용된다.

도 4A-4C는 성장하는 텅스텐 박막 스택(stack)을 나타내며, 여기서 교차하는 CVD 벌크 층과 PNL 캡 층이 증착된다. 도 4A에서, 반도체 서브스트레이트(401)에는 리세스(403) 및 (405)가 제공된다. 이것은 비아(vias), 접촉 구멍(contact holes) 트렌치 라인(trench lines) 등일 수 있다. 텅스텐 핵형성 층(407)은 서브스트레이트(401) 상에 첫 번째 텅스텐 층을 형성한다. 첫 번째 텅스텐 층(409)은 핵형성 층(407)의 상부에 위치한다. 도 4B는 도 4A의 구조를 도시하지만, 첫 번째 텅스텐 캡 층(411)이 첫 번째 벌크 층(409)의 상부에 형성되었다. 그러므로 텅스텐 박막 스택은 이제 핵형성층-벌크 층 1-캡 층 1의 형태를 갖는다. 도 4C는 4B의 구조를 도시하지만, CVD 벌크 층 증착 및 PNL 캡 층 증착의 다른 사이클 후에 추가적인 벌크 층(413) 그리고 캡 층 (415)가 형성되었다. 도 4C에 존재하는 텅스텐 박막 스택은 다음과 같다: 핵형성 층-벌크 층 1-캡 층 1-벌크 층 2-캡 층 2. 도시된 바와 같이, 이 예시에서, 두 번째 캡 층(415)는 (403)과 (405)의 리세스의 충전을 완성하였다. 그러므로 텅스텐 증착 공정은 이 시점에서 종결될 것이다.

디보란(B₂H₆) 환원제의 초기 펄스에 의한 PNL 핵형성

PNL 텅스텐 박막의 속성은 실질적으로 공정 가스의 선택 및 도입에 의하여 변경될 수 있다. 특히, 텅스텐-함유 가스(예, WF₆)의 첫 번째 투여 전에 붕소-함유 환원제(예 B₂H₆)의 단일 투여로 PNL 텅스텐 증착을 시작하는 것이 유리하다. 초기의 B₂H₆-WF₆의 투여 후, 남아있는 PNL 텅스텐 증착의 사이클은 전술한 바와 같이 진행될 수 있다. (예, SiH₄ 및 WF₆ 펄스의 교차)

이 접근에서, 디보란(또는 다른 붕소-함유 전구체)는 서브스트레이트 표면에서 "희생층"을 형성하기 위하여 원소의 붕소와 반응한다. 이 희생층은 실질적으로 텅스텐 전구체와 반응하여 원소의 텅스텐을 생성한다. 붕소 증착 공정은 전통적인 자체-제어 ALD 타입의 증착 공정(예를 들면 시레인-기초 반응과 반대로)이 아니다. 그보다는, 디보란(또는 다른 적절한 붕소-함유 물질)은 유전체 표면에서 전형적인 PNL 또는 CVD 작업 조건(예, 200-400°C, 1-300 토르)하에서 붕소 박막을 형성하기 위하여 열적으로 분해된다. 이 반응은 서브스트레이트가 붕소 환원제에 노출되는 한 진행될 수 있다. 그러나 제한된 양의 텅스텐이 실제로 수반되는 단계에서 형성된다는 것을 확보하기 위하여, 디보란 증착은 바람직하게는 약 3 내지 10 옹스트롬의 두께로 제한된다. 이것은 약 하나 내지 세 단일 층의 디보란에 대응된다. 이 공정의 두 번째 작업에서, 원소의 붕소 층은 텅스텐 전구체에 노출되고, 텅스텐 층은 붕소에 의하여 원소의 텅스텐으로 환원된다.

바람직하게는, 이 붕소 작업은 충분한 양의 붕소가 적당한 시간 동안 표면에 형성된다는 것을 확보하기 위하여 온화한 온도(예 200 도씨)에서 수행된다. 다른 매개변수를 고려하면, 일반적으로 공정 단계는 약 0.1 내지 300 토르의 압력에서 수행되고 투여량은 유입속도와 접촉 시간에 의하여 결정된다. 일반적으로, 붕소-함유 환원제는 금속성 텅스텐의 층을 형성하기 위하여 텅스텐 전구체를 효과적으로 환원시킬 수 있는 어떠한 공정-적합성 붕소 화합물도 가능하다. 적절한 붕소-함유 환원제의 예에는 헥사보란(B₆H₁₀) 트리 보란, 디보란(B₂H₆) 등이 포함된다.

측정 결과는 대략 200kJ/gmol의 활성화 에너지로 B₂H₆으로부터 1차 붕소 성장 동력학을 나타낸다. 그러므로 첫 번째 WF₆ 또는 다른 W 함유 시약 펄스의 전에 희생층으로서 매우 얇은 붕소 박막이 증착될 수 있다. 표면의 이 B의 용량은 웨이퍼의 모든 표면에 핵형성 및 텅스텐 성장을 시작하기 위하여 WF₆를 위한 적절한 핵형성 위치를 제공하기 위하여 설계된다. 이것은 도입되는 반도체 웨이퍼 서브스트레이트에서 극적으로 PNL 공정의 감수성을 감소시킨다. 특히, 첫 번째 B₂H₆ 펄스부터 적절하게 최적화된 B 층으로, 심지어 불연속적인 Ti-TiN 라인-장벽 박막으로 웨이퍼의 표면에 텅스텐을 핵형성 할 수 있다. 불량한 스텝 커버리지는 종종 접촉의 중형비가 10:1(깊이/직경)을 초과하는 경우 접촉의 바닥 근처에 불연속적인 박막을 형성하기 때문에, 로직이나 DRAM 장치들을 위한 극히 높은 중형비 반도체 접촉 구조에서 이것은 매우 중요하다.

B₂H₆는 PNL 텅스텐을 위하여 환원제로서 결점이 없는 것은 아니다. B₂H₆는 열CVD 공정에 의하여 증착되며 자체-제어되지 않으므로, B₂H₆로부터 붕소 증착의 스텝 커버리지 문제를 갖는 것은 가능하다. 이것은 대체로 중형비가 20:1 미만인 피처의 경우 나타나지 않으나, 60:1 이상의 중형비를 갖는 공격적인(DRAM) 구조의 경우 문제가 될 것이다. SiH₄는 자체-제어되며 주어진 충분한 투여 시간동안 어떠한 지형도 완전히 포화시킬 수 있다. 그러므로 바람직한 PNL 텅스텐의 성장을 위한 실행은 B₂H₆의 초기 펄스로 시작하고 그 후 WF₆ 및 SiH₄의 교차 투여를 수행하는 것이다. B₂H₆ 투여 시간은 수반되는 텅스텐 성장을 위하여 적절한 핵형성 위치를 제공하기 위하여 최적화된다. 붕소는 또한 WF₆의 분해에 의하여 생성되는 초과 불소를 소비하기 위하여 게터(getter)로서 작용한다. 수반되는 WF₆ 및 SiH₄의 투여는 자체-제어되며 균일하고 전체적으로 등각의 텅스텐 박막 성장을 초래한다.

B₂H₆, WF₆ 그리고 SiH₄를 위한 담체 가스의 선택은 중요한 것으로 관찰되었다. 일부 경우, N₂ 담체 가스 내의 B₂H₆는 아르곤 담체 가스 내의 B₂H₆에 비하여 PNL-W 스텝 커버리지에 상당한 개선을 가져온다. N₂가 새로운 텅스텐 결정의 핵형성을 억제함으로써 WF₆-H₂ CVD로부터 텅스텐 성장을 억제할 수 있다는 것은 명백하다. 텅스텐

PNL을 위한 초기 환원제 펄스로서 B₂H₆-N₂의 경우, N₂는 텅스텐이 존재하는 텅스텐 핵에서 성장하기 시작하기 전에 웨이퍼 표면에 입수 가능한 붕소에 텅스텐 핵형성을 증진할 것이다.

붕소 공정은 도 3C에 예시되어 있다. (325) 및 (327)의 작업 공정에서, 반도체 서브스트레이트는 증착 챔버에 배치되고 도 3A 및 3B의 공정과 같이 요구되는 온도로 가열된다. 그 후, 작업(329)에서, 서브스트레이트는 붕소-함유체(예, B₂H₆)의 초기 펄스에 노출된다. 하나의 이행에서, 붕소 체는 담체 가스 내의 온건한 농도로 제공된다(예, N₂ 담체 가스 내의 5 부피%의 B₂H₆). 붕소-함유 화합물이 일정 기간(예, 약 0.1 내지 10초)동안 반응기로 유입된 후, 증착 스테이션(또는 단일 웨이퍼 반응기의 경우 챔버)은 수소, 질소 또는 아르곤과 같은 적절한 퍼지 가스로 퍼지된다.

작업(329)가 완결된 후, 서브스트레이트는 원소의 붕소의 얇은 막으로 덮일 것이다. 이 시점에서, 서브스트레이트는 텅스텐-함유 가스(예, WF₆)에 노출된다. 작업(311) 참조. 원소의 붕소는 이 가스를 원소의 텅스텐으로 환원하여 서브스트레이트 표면에 얇은 텅스텐의 층을 형성한다. 이 층의 두께는 표면의 붕소의 두께에 의하여 결정된다. 일 실시예에서, 서브스트레이트는 텅스텐-함유 가스에 약 0.1 내지 10초 동안 노출된다. 그 후 텅스텐-함유 가스는 적절한 퍼지 가스(예, 아르곤, 질소 그리고/또는 수소)를 사용하여 챔버로부터 퍼지된다.

도 3C에 도시된 일 실시예에서, 서브스트레이트는 다음 환원 가스, 바람직하게는 시레인(예, SiH₄)에 노출된다. 블록(333) 참조. 이것은 PNL 공정의 보다 "전통적인" 상을 시작한다. 바람직하게는, 환원 가스는 서브스트레이트와 약 0.1 내지 10 초 동안 접촉하며 그 후 아르곤, 질소, 수소 등을 사용하여 시스템으로부터 퍼지된다.

작업 (331) 그리고 (333)은 요구되는 텅스텐 PNL 박막의 두께가 얻어질 때까지 반복될 것이다. 지시된 바와 같이, 이것은 전통적인 PNL 사이클로 작용할 것이다. 많은 경우, 두 작업 모두 자체-제어된다. 오직 시레인 환원제가 증착된 만큼 서브스트레이트의 표면에 흡착될 수 있으며, 그리고 오직 텅스텐-함유 가스가 반응한 만큼 흡착된 시레인에 의하여 소비될 수 있다. 도 3C의 결정 작업(335)은 공정 흐름에서 다중의 PNL 사이클(붕소 증착 후)를 허용한다. 도 3B의 경우에서처럼, 이 공정은 이미 정의된 텅스텐 용량이 증착될 때까지 계속될 수 있으며, 또는 종결 기준(예, 두께, 거칠기, 등)에 부합하는 경우 종결된다. 각 사이클은 동일한 텅스텐-함유 가스를 사용할 수 있으며 또는 일부 사이클은 다른 텅스텐-함유 가스를 사용할 수도 있다. 실시예에서, 각 사이클은 WF₆를 사용한다. 또한, 각 사이클은 동일한 환원제를 사용하거나 또는 일부 사이클은 다른 환원제를 사용할 수 있다.

이 실험의 변형으로서, 웨이퍼를 B₂H₆ 또는 SiH₄ 환원제 투여 전에 짧은 WF₆ 펄스에 노출시키는 것은 바람직하다. WF₆는 금속 또는 실리콘과 강력하게 반응하며 부분적으로 산화된 금속 또는 실리콘 표면상의 핵형성을 증진시킬 수 있다. 그러나 초기 WF₆ 투여의 강도 및 지속은 불소의 실리콘, 금속 또는 다른 취약성 물질에 대한 공격을 방지하기 위하여 잘 제어되어야 한다.

이 실험의 또 다른 변형으로써, 이 공정은 작업(329), (331) 그리고 (333)을 요구되는 두께의 PNL 텅스텐을 형성하기 위하여 필요한 만큼 반복할 수 있다. 즉, 즉, 붕소-함유 가스는 단순히 초기 작업 이상에서 사용된다. 이것은 시레인의 대신으로 또는 시레인(또는 다른 환원제)와 함께 수반되는 사이클에서 사용될 것이다. 바람직하게는, 서브스트레이트의 각 반응물체의 노출 시간은 증착의 처음, 중간, 그리고 마지막에서 최적화 된다. 하나의 변형은 초기 사이클 동안의 긴-붕소 함유 가스 투여, 초기 사이클 동안의 짧은 텅스텐-함유 가스 투여, 그리고 초기 사이클 동안의 긴 시레인 투여를 포함한다. 이러한 변화는 감소된 핵형성 지연을 촉진시키고 불소의 공격으로부터 장치의 보호를 증진한다. 시간의 변형은 이하에서 설명되는 도 5에서 도시된 바와 같은 장치를 사용하여 전환, 라인-장전, 투여 그리고 퍼지 시간을 주의하여 제어함에 의하여 실행될 수 있다.

증착 챔버 및 관련장치

본 발명의 방법은 Novellus Concept-1 Aluts, Concept-2 Aluts, Concept-3 Aluts 증착 시스템 내, 또는 다른 다양한 상업적으로 사용 가능한 CVD 도구 내에서 수행된다. 특히, 이 공정은 다중 증착 스테이션에서 순차적으로 수행될 수 있다. 미국 특허 제 6,143,082 참조. 이 문서는 여기에 모든 목적을 위하여 편입된다. 본원 발명의 일부 실시예에서, 펄스 핵형성 공정은 단일 증착 챔버 내에 배치된 둘 중의 하나, 다섯 또는 그 이상의 증착 스테이션의 첫 번째 스테이션에서 수행된다. 그러므로 서브스트레이트 표면에 편재된 대기를 형성하는 개별적인 가스 공급 시스템을 사용하여 첫 번째 스테이션에서 환원 가스 및 텅스텐-함유 가스는 반도체 서브스트레이트의 표면에 교차로 도입된다. 물론, 질소 가스 또한 공정의 어느 때라도 적절하게 도입된다.

일 실시예에서, 텅스텐 박막의 핵형성이 완결된 후, 가스는 정지된다. 첫 번째 속도에서 첫 번째 증착된 텅스텐 두께를 갖는 반도체 서브스트레이트는 그 후 두 번째 증착 스테이션으로 이동하고 새로운 웨이퍼가 첫 번째 스테이션이로 이동하여 배치된다. 웨이퍼들은 하나 또는 그 이상의 사이클의 반복 후에 한 증착 스테이션에서 다음으로 부여된 병렬 웨이퍼 가공을 위하여 도입된다. 하나 또는 그 이상의 다른 증착 스테이션에서 교차하는 환원 가스와 텅스텐-함유 가스의 부가적인 사이클에 의하여 텅스텐 박막의 총 두께가 얻어진다. 이것은 모든 서브스트레이트가 요구되는 두께로 코팅될 때까지 반복된다. 증착되는 텅스텐 핵형성 층의 총량을 형성하는 것은 이들 개별적인 증착의 합이다. 각각 인접 스테이션으로부터 분리된 편재화 된 대기를 가질 수 있는 여러 개의 증착 스테이션은 단일 챔버 내에 있을 수 있다.

본 발명은 또한 텅스텐-함유 가스 또는 환원 가스를 전달하는 데 공헌하는 교차 증착 스테이션을 위한 증착 챔버를 제공한다. 특히, 챔버 내의 증착 스테이션은 두 그룹으로 분리되어 있으며, 첫 번째 그룹은 환원 가스의 전달에 공헌하며 그리고 두 번째 그룹은 텅스텐-함유 가스의 도입에 사용된다. 이들 스테이션은 또한 지정된 가스와 동시에 불활성 가스 그리고/또는 질소의 전달을 위하여 제공될 수 있다. 그러므로 텅스텐은 웨이퍼를 한 스테이션에서 다른 스테이션으로 이동함에 의하여 증착되므로 웨이퍼는 요구되는 두께의 텅스텐 이 얻어질 때까지 환원 가스에 그리고 그 후 텅스텐-함유 가스에 순차적으로 노출된다.

본 발명의 다른 측면은 텅스텐의 교차 증착을 위하여 하나 또는 그 이상의 다음의 요소를 함유하는 모듈을 제공하는 것이다. :

웨이퍼를 샤워헤드 아래에 고정하는 가열된 대(pedestal)와 쌍을 이루는 균일한 가스 도입을 위한 샤워헤드 또는 분산 플레이트를 포함하는 다수의 증착 스테이션;

모듈 내에서 가스-재순환을 최소화 하고 교차 증착 단계 사이의 효율적인 퍼지를 증진시키기 위하여 샤워헤드가 모듈 진공 챔버의 상부와 플러시-고정(flush-mounted)된 다수의 증착 스테이션;

스테이션-대-스테이션 분리를 개선하며 증착 사이클 사이의 퍼지 시간을 감시키는 증착 샤워헤드에 의하여 점유되지 않은 상부 플레이트를 덮는 퍼지 가스 플러넘(plenum)으로 구성된 모듈 진공 챔버의 완전히 퍼지된 상부 플레이트; 또는

가열된 대가 각각의 증착 스테이션으로부터 챔버의 배기 장치에 연결된 환상의 펌핑 링에 의하여 서로 완전히 또는 부분적으로 분리되는 진공 챔버. 이 특징은 스테이션-대-스테이션의 분리를 더욱 증진시키며 동일한 모듈 내에서 교차 스테이션 상에 다른 공정이 동시에 수행되도록 한다.

모듈은 각 샤워헤드에 제공된, 샤워헤드와 서브스트레이트 플레이트(platen) 사이에 PF 플라즈마를 생성하기 위한 수단을 더 포함할 수 있다. 바람직하게는, 그러한 수단은 PF 에너지원, 매치 네트워크, 그리고 필요한 전기적 연결을 포함한다. 다른 실시예에서, 모듈은 챔버 내에 마이크로파 플라즈마를 생성하기 위한 수단을 더 포함할 수 있다. 일부 모듈은 공정 진공 배기 장치[펌프 또는 진공 배출구 (foreline)]에 직접 연결된 전환 라인을 제공할 것이다. 그러므로 공정 가스는 각각의 MFCs(mass flow controllers)가 켜진 직후의 시간 동안 증착 챔버를 우회할 수 있다. 또한, 가스 전달 시스템에는 라인 장전 부피를 제어하기 위한 메커니즘이 제공될 수 있다. 이것은 질소, 텅스텐 전구체(예, WF_6) 그리고/또는 환원제(예, SiH_4 그리고 B_2H_6)의 전달의 정밀한 시간 조절에 있어서 중요할 수 있다. 이러한 하드웨어의 특성으로 인하여, PNL 동안에 펄스 온 그리고 오프되는 모든 가스는 전환 및 라인 장전 공정 시퀀스에 의하여 전달 될 수 있다.

플러시-고정된 샤워헤드, 완전히 퍼지된 상부 플레이트, 그리고 환상 펌핑 포트를 갖는 그러한 모듈의 대표적인 예시는 도 6에 도시된다.

이 기술분야에서 이해되는 바와 같이, 이러한 각각의 증착 스테이션은 대체로 서브스트레이트를 고정하고 미리 결정된 온도로 서브스트레이트를 가열하는 가열된 서브스트레이트 플레이트(platen)를 가질 것이다. 또한, 각각은 대체로 서브스트레이트의 배면에 텅스텐 박막이 증착되는 것을 방지하기 위하여 배면 가스 분산 시스템을 가지며, 그리고 서브스트레이트를 플레이트에 클램핑하기 위하여 진공 클램핑 다기관(vacuum clamping manifold)을 가질 것이다. 결국, 증착 챔버는 웨이퍼 또는 서브스트레이트를 증착 스테이션 사이는 물론 챔버 안으로 그리고 밖으로 전달하는 전달 시스템이 구비될 수 있다.

본 발명은 도 5에 도시된 바와 같이 다양한 가스 분배 라인에 라인 장전을 제공하는 가스 다기관 시스템을 사용하여 실행될 것이다. 다기관(manifold)(504)는 텅스텐-함유 전구체 가스의 원(도시되지 않음)으로부터의 입구(502)를 가지며, 다기관(511)은 환원가스의 원(도시되지 않음)으로부터의 입구(509)를 가지고, 그리고 다기관(521)은 질소의 원(도시되지 않음)으로부터의 입구(519)를 갖는다. 이들 다기관(540, 511 그리고 521)은 텅스텐-함유 전구체 가스, 환원 가스 그리고 질소를 증착 챔버에 밸브 분산 라인(각각 505, 513 그리고 525)을 통하여 제공한다. 이 다양한 밸브는 라인 장전, 즉 분산 라인을 가압하기 위하여 열리거나 또는 잠긴다. 예를 들면 분산 라인(505)를 가압하기 위하여, 밸브(506)이 진공으로 닫히고 밸브(508)이 열린다. 적절한 시간이 지난 후, 밸브(508)이 열리고 [밸브(515)는 닫힘] 텅스텐-함유 전구체 가스가 챔버로 전달된다. 위의 예와 같이, 일부 실시예에서 전구체 가스는 질소와 함께 공급될 수 있다. 가스 전달을 위하여 적절한 시간 후, 밸브(508)은 닫힌다. 챔버는 그 후 밸브(506)을 진공으로 열어서 진공으로 퍼지할 수 있다.

유사한 공정이 환원 가스와 질소를 전달하기 위하여 사용된다. 예를 들면, 환원 가스를 도입하기 위하여, 분산 라인(513)이 밸브(515)를 닫고 밸브(517)를 진공으로 닫음으로써 잠긴다. 밸브(515)를 열어서 환원 가스를 챔버로 이동하도록 한다. 유사하게, 질소를 도입하기 위하여, 분산 라인(525)은 밸브(527)를 닫고 밸브(523)을 진공으로 닫음으로써 잠긴다. 밸브(527)를 열어서 질소가 챔버로 전달되도록 한다. 라인 장전을 위하여 허용된 시간의 양은 가스의 초기 전달 시간과 양을 변화시킨다는 것이 밝혀졌다. 적절한 라인 장전 시간의 일부 예시가 아래에서 제공된다.

도 5는 시스템의 퍼지를 위하여 열릴 수 있는 밸브(각각 506, 517 그리고 523)를 도시한다. 다양한 분산 라인을 통한 가스의 공급은 매스 유입 제어기와 같은 제어기(controller)에 의하여 제어되며, 이것은 유입 속도, 유입의 지속 시간, 공정의 순서가 프로그램 된 마이크로프로세서에 또는 디지털 신호 프로세서 등에 의하여 제어된다.

지시된 바와 같이, 붕소-함유 환원제 및 시레인 환원제를 동일한 공정에 사용하는 것이 필요할 것이다. 이런 경우, 환원제를 위한 두 서브시스템이 존재할 것이다 : 하나는 붕소-함유 환원제를 위하여 그리고 다른 하나는 시레인을 위하여.

전술한 PNL 공정은 PNL-W 증착 동안에 시약의 펄스를 반도체 서브스트레이트에 공급하는 정밀한 밸브의 시간조절 및 MFCs(매스 유입 제어기)를 요구할 것이다. 이것을 가능하게 하는 한 방법은, 밸브 및 MFC 명령이 PNL 증착 시퀀스의 일부 또는 모두를 위하여 모든 시간-임계적 명령을 위한 지시를 함유하는 정보의 불연속 묶음(packet)에서 구비된 디지털 입력-출력 조절기(IOC)로 전달된다. Novellus의 C2 및 C3 ALTUS 시스템은 하나 이상의 IOC 시퀀스를 제공한다. IOC는 물리적으로 장치 내의 다양한 부분에 배치될 수 있다. ; 예를 들면, 공정 모듈 내에 또는 공정 모듈로부터 이격되어 배치된 스탠드-어론 파워 랙(stand-alone power rack)에 배치된다. 각 모듈에는 대체로

다중의 IOC가 존재한다. (예, 모듈 당 3개). 시퀀스에 포함된 실제의 지시와 관련하여, 밸브의 조절 및 MFC 유입 세팅(모든 담체 및 반응 가스)을 위한 모든 명령은 단일 IOC 시퀀스에 포함될 것이다. 이것은 모든 장치의 타이밍이 절대적인 관점에서 그리고 서로 상대적으로 엄격하게 조절되는 것을 확보한다. 주어진 시간에서 작동하는 다중의 IOC 시퀀스가 대체로 존재한다. 이것은, 말하자면, 스테이션에서 PNL-W를 증착하기 위하여 필요한 모든 하드웨어 요소를 위하여 제어되는 타이밍으로 PNL이 스테이션 1-2에서 작동하도록 허용한다. 두 번째 시퀀스는 동시에 스테이션 3-4-5에서 CVD-W 증착을 위하여 작동할 것이다. 스테이션 3-5로의 시약 전달을 제어하는 장치의 상대적인 타이밍은 장치들의 그룹 내에서 중요하다. 그러나 스테이션 1-2에서 PNL 공정의 상대적인 타이밍은 스테이션 3-5에서의 CVD의 상대적인 타이밍으로부터 상쇄될 수 있다. 하나의 IOC는 묶어진 시퀀스 내의 정보를 해독하고 디지털 또는 아날로그 명령 신호를 직접 밸브를 조절하는 MFC 또는 공압 솔레노이드 뱅크(pneumatic solenoid banks)로 전달한다. 이 실행은 밸브 또는 MFC에서 명령 수행의 지연을 5ms 정도로 감소시킨다. 명령이 하나하나 IOC로 발생하는 전형적인 제어 시스템은 모듈 작동 제어 컴퓨터와 IOC 사이의 커뮤니케이션 지연이 유발된다. 단일-명령 이행에서의 지연은 250ms를 초과할 수 있다. 일 예에서, 우수한 반응 및 반복성을 얻기 위하여, 질소 유입은 먼저 질소를 MFC를 통하여 흐르게 하고 증착 챔버에 질소를 도입하기 전에 흐름을 안정화하기 위하여 공정 진공 펌프로 흐름을 전환시킴에 의하여 도입된다. 질소 유입을 안정화하기 위하여, 질소 출구 밸브(527)는 닫히고 질소 전환 밸브(523)는 열린다. 대기관 시스템은 그 후 질소 전환 밸브(523)을 닫고 질소 공정 출구 밸브(527)을 약 0.10 내지 3.00cg 동안 닫음으로써 제어된 질소 가스의 초기 분출을 확보하게 위하여 질소 전달 라인(525)을 가압한다. 다음, 이 시스템은 전환 밸브는 닫고 질소 출구 밸브(527)을 증착 챔버로 개방하여 질소를 증착 동안에 공정 챔버로 전달한다. 바람직하게는, 모든 밸브 타이밍은 전술한 바와 같은 구비된 입력-출력 제어기 명령 시퀀스를 사용하여 제어된다. 전술한 공정은 PNL 또는 CVD를 사용하는 텅스텐 핵형성 층, 벌크 층, 그리고/또는 캡 층의 증착에 적용될 것이다.

붕소-함유 가스(예, 디보란)를 챔버로 전달하기 위한 대기관 시스템 시퀀스는 다음의 작업에 관련된다. 첫 째, 시스템은 MFC 또는 다른 유입 제어 장치가 안정화되는 기간 동안 디보란-담체 가스 혼합물을 진공 펌프로 전환한다. 바람직하게는 이것은 질소 담체 가스 내의 5% 부피의 디보란 혼합물을 사용하여 약 0.5 내지 5초 동안 수행된다. 그 후 시스템은 디보란 전달 대기관을 전환 밸브와 증착 챔버로의 출구를 모두 닫음으로써 가압한다. 한 실행에서, 이것은 약 0.1 내지 5초의 시간 동안 수행된다. 이것은 증착 챔버로의 출구가 열리는 경우 시약의 초기 분출을 생성한다. 한 실행에서, 출구는 약 0.1 내지 10초의 기간 동안 개방된다. 그 후 적절한 담체 가스를 사용하여 챔버로부터 디보란을 퍼지하는 것이 수반된다.

텅스텐-함유 가스의 펄스는 다음과 같이 생성된다. 초기에, 시스템은 WF₆(가스의 일 예)를 진공 펌프로 일정 시간 동안 전환하고 MFC 또는 다른 유입-제어 장치는 안정화된다. 이것은 예를 들면, 약 0.5 내지 5초 동안 수행된다. 다음, 이 시스템은 텅스텐 가스 전달 대기관을 전환 출구(506) 그리고 증착 챔버로의 출구(508)을 모두 닫음으로써 가압한다. 이것은 증착 챔버로의 출구가 열리는 경우 시약의 초기 분출을 생성하기 위하여 예를 들면, 약 0.1 내지 5초 동안 수행된다. 이것은 일 실시예에서 약 0.1 내지 10초 동안 출구 밸브(508)를 개방함으로써 수행된다. 그 후, 텅스텐-함유 가스는 증착 챔버로부터 적절한 퍼지 가스를 사용하여 퍼지 된다.

시레인 또는 다른 환원 가스의 펄스 유입은 전환 밸브(517) 그리고 출구 밸브(515)를 제어함으로써 유사한 방식으로 실행된다. 이 변환, 라인 가압, 그리고 유입 단계는 텅스텐-함유 가스의 예에서 제공된 것과 같이 시간이 조정될 것이다. 약 0.1 내지 10초 동안 환원 가스로 펄스한 후, 출구 밸브(515)는 닫히고 퍼지 가스가 챔버로 유입된다.

여기서 설명된 예시와 실시예들은 설명을 위한 것이며 그러므로 당업자는 다양한 변형 또는 변경을 제안할 수 있으며 이들은 본 출원의 기술적 사상과 첨부된 청구항의 보호범위 내에 포함된다. 여기서 언급한 모든 문서, 특허, 출원은 전체로서 여기에 참조문헌으로 편입된다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

다음을 포함하는, 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 박막을 형성하는 방법:

- (a) 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 핵형성 층을 증착하는 단계;
- (b) 화학 증착(CVD) 공정을 사용하여 핵형성 층 상에 텅스텐 벌크 층을 증착하는 단계; 그리고
- (c) 펄스 핵형성 층(PNL) 증착 기술을 사용하여 텅스텐 벌크 층 상에 텅스텐 캡 층을 증착하는 단계.

청구항 2.

제 1항에 있어서, 단계 (b)와 (c)를 반복하는 것을 더 포함하는 방법.

청구항 3.

제 1항에 있어서, 단계 (b)와 (c)를 여러 번 반복하는 것을 더 포함하는 방법.

청구항 4.

제 1항에 있어서, 단계 (a)는 다음의 단계를 포함하는 방법:

반도체 서브스트레이트를 반응 챔버 내에 배치하는 단계;

반도체 서브스트레이트를 가열하는 단계; 그리고

텅스텐-함유 가스와 환원 가스를 사용하여 반도체 서브스트레이트 상에 PNL을 수행하는 단계.

청구항 5.

제 4항에 있어서, 환원 가스는 시레인인 방법.

청구항 6.

제 1항에 있어서, 단계 (b)는 반도체 서브스트레이트를 다음에서 선택된 하나 이상의 가스를 포함하는 공정 가스에 노출시키는 방법:

WF_6-H_2 , $WCl_6-B_2H_6$ 그리고 $W(CO)_6$

청구항 7.

제 1항에 있어서, 단계(c)는 다음의 단계를 포함하는 방법:

(i) 반도체 서브스트레이트를 보유하는 증착 챔버로 환원 가스를 유입하여, 환원 가스가 상기 반도체 서브스트레이트 상에 흡착되는 단계;

(ii) 환원 가스를 증착 챔버로부터 퍼지하는 단계;

(iii) 텅스텐-함유 가스를 상기 증착 챔버로 유입함으로써 상기 증착된 환원 가스가 실질적으로 텅스텐 박막을 환원시키는 단계;

(iv) 텅스텐-함유 가스를 증착 챔버로부터 퍼지하는 단계; 그리고

(v) (i) 내지 (iv)를 한번 이상의 추가적인 사이클로 반복하는 단계.

청구항 8.

제 7항에 있어서, 환원 가스는 시레인인 방법.

청구항 9.

다음의 단계를 포함하는, 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 박막을 형성하는 방법:

(a) 질소의 존재 하에서 텅스텐-함유 가스와 환원제의 교차 펄스와 반도체 서브스트레이트를 접촉시킴으로써 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 핵형성 층을 증착시키는 단계; 그리고

(b) 반도체 서브스트레이트가 질소에 노출되는 CVD 공정에 의하여 텅스텐 핵형성 층 상에 텅스텐 벌크 층을 증착시키는 단계.

청구항 10.

제 9항에 있어서, 단계 (a)는 반도체 서브스트레이트를 텅스텐-함유 가스 및 환원제에 교차 노출시킴으로써 PNL을 수행하는 것을 포함하는 방법.

청구항 11.

제 9항에 있어서, 단계 (a)에 적용되는 질소는 반도체 서브스트레이트에 유입되는 총 가스의 부피에 대하여 1 내지 20%를 포함하는 방법.

청구항 12.

제 9항에 있어서, 단계 (b)에 적용되는 질소는 반도체 서브스트레이트에 유입되는 총 가스의 부피에 대하여 1 내지 20%를 포함하는 방법.

청구항 13.

제 9항에 있어서, 단계 (b)는 WF_6 그리고 $W(CO)_6$ 그리고 이들의 조합으로 구성되는 그룹에서 선택된 텅스텐-함유 가스에 반도체 서브스트레이트를 노출키는 것을 포함하는 방법.

청구항 14.

제 9항에 있어서, 단계 (a)는 텅스텐 핵형성 층의 증착이 시작된 후 까지 반도체 서브스트레이트의 질소에 대한 노출을 지연시키는 것을 포함하는 방법.

청구항 15.

제 14항에 있어서, 텅스텐 핵형성 층 증착의 시작과 질소에의 노출 사이의 지연은 0.25 내지 1초인 방법.

청구항 16.

제 9항에 있어서, 단계 (b)는 텅스텐 벌크 층의 증착이 시작된 후 까지 반도체 서브스트레이트의 질소에의 노출을 지연시키는 것을 포함하는 방법.

청구항 17.

제 16항에 있어서, 텅스텐 벌크 층의 시작과 질소에의 노출 사이의 지연은 0.25 내지 1초인 방법.

청구항 18.

제 9항에 있어서, 단계 (a)는 텅스텐 핵형성 층 증착의 완결 전에 반도체 서브스트레이트의 질소에의 노출을 중지하는 것을 포함하는 방법.

청구항 19.

다음의 단계를 포함하는, 반응 챔버 내에서 반도체 서브스트레이트 상에 텅스텐 박막을 형성하는 방법 :

- (a) 반도체 서브스트레이트 상에 붕소 층을 형성하는 단계;
- (b) 붕소 층을 텅스텐-함유 가스와 접촉시킴으로써 반도체 서브스트레이트 상에서 텅스텐-함유 가스를 텅스텐 층으로 환원시키는 단계;
- (c) 환원제의 층을 형성하기 위하여 반도체 서브스트레이트를 환원제와 접촉하는 단계; 그리고
- (d) 환원제의 층을 텅스텐-함유 가스와 접촉시킴으로써 반도체 서브스트레이트 상에서 텅스텐-함유 가스를 또 하나의 텅스텐 층으로 환원시키는 단계.

청구항 20.

제 19항에 있어서, 단계(a)는 반도체 서브스트레이트 상에서 보란(borane) 화합물을 분해하는 것을 포함하는 방법.

청구항 21.

제 20항에 있어서, 보란 화합물은 디보란인 방법.

청구항 22.

제 20항에 있어서, 반도체 서브스트레이트를 200 내지 400°C로 가열하고 반도체 서브스트레이트를 증기 상(vapor phase)의 보란 화합물과 접촉시키는 것을 더 포함하는 방법.

청구항 23.

제 22항에 있어서, 증기 상태는 보란 화합물 이외에 질소 담체 가스를 포함하는 방법.

청구항 24.

제 22항에 있어서, 반도체 서브스트레이트를 증기 상의 보란 화합물과 접촉 시킨 후 보란 화합물의 반응 챔버를 퍼지하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 25.

제 19항에 있어서, 반도체 서브스트레이트는 보란 화합물과 0.1 내지 10초 동안 접촉되는 방법.

청구항 26.

제 19항에 있어서, 단계 (b) 및 (d)의 텅스텐-함유 가스는 동일한 조성인 방법.

청구항 27.

제 19항에 있어서, 단계 (b) 및 (d)의 텅스텐-함유 가스는 WF_6 를 포함하는 방법.

청구항 28.

제 19항에 있어서, 반도체 서브스트레이트는 단계 (b)에서 텅스텐-함유 가스와 0.1 내지 10초 동안 접촉하는 방법.

청구항 29.

제 19항에 있어서, 단계 (c)에서 형성된 환원제의 층은 자체-제어 층(self-limiting layer)인 방법.

청구항 30.

제 19항에 있어서, 단계 (c)에서 형성된 환원제의 층은 시레인인 방법.

청구항 31.

제 19항에 있어서, 단계 (c)의 환원제는 붕소-함유 화합물인 방법.

청구항 32.

제 19항에 있어서, 단계 (c) 및 (d)를 한 사이클 이상 반복하는 것을 더 포함하는 방법.

청구항 33.

제 32항에 있어서, 초기 사이클에서 텅스텐-함유 가스와 접촉하는 기간은 후기 사이클에서 텅스텐-함유 가스와 접촉하는 기간보다 짧은 방법.

청구항 34.

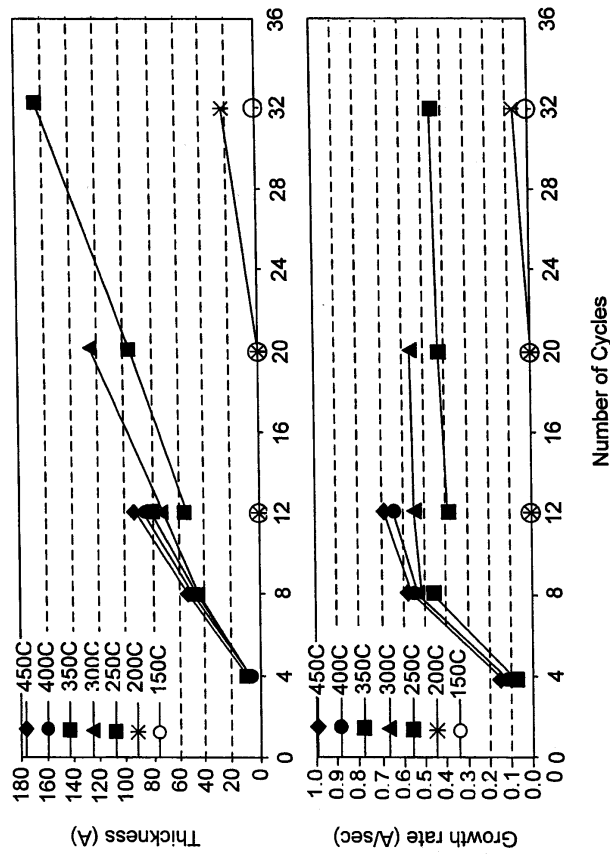
제 19항에 있어서, 단계 (b)에서 텅스텐-함유 가스와 접촉하는 기간은 단계 (d)에서 텅스텐-함유 가스와 접촉하는 기간보다 짧은 방법.

청구항 35.

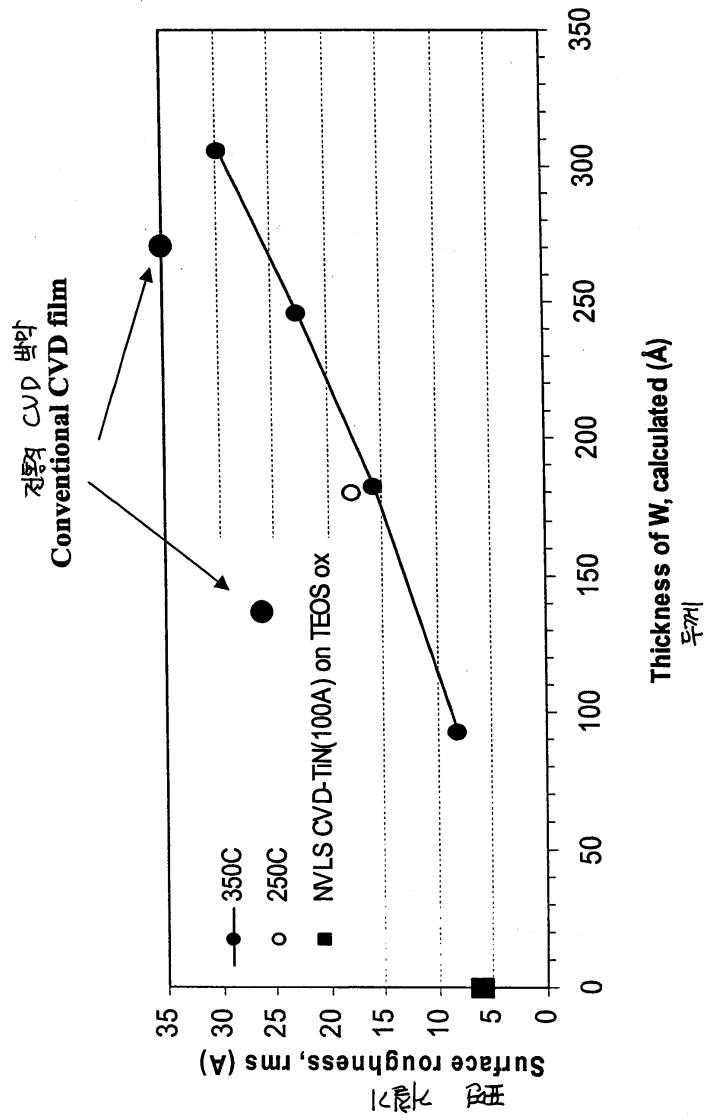
제 19항에 있어서, 반도체 서브스트레이트를 단계 (a) 전에 WF_6 의 펄스에 노출시키는 것을 더 포함하는 방법.

도면

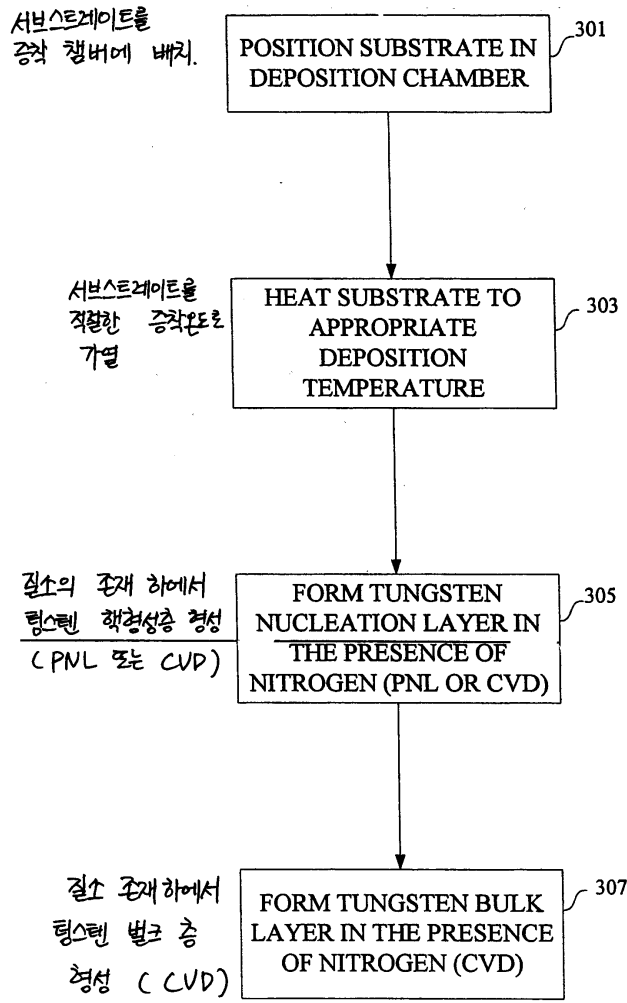
도면1



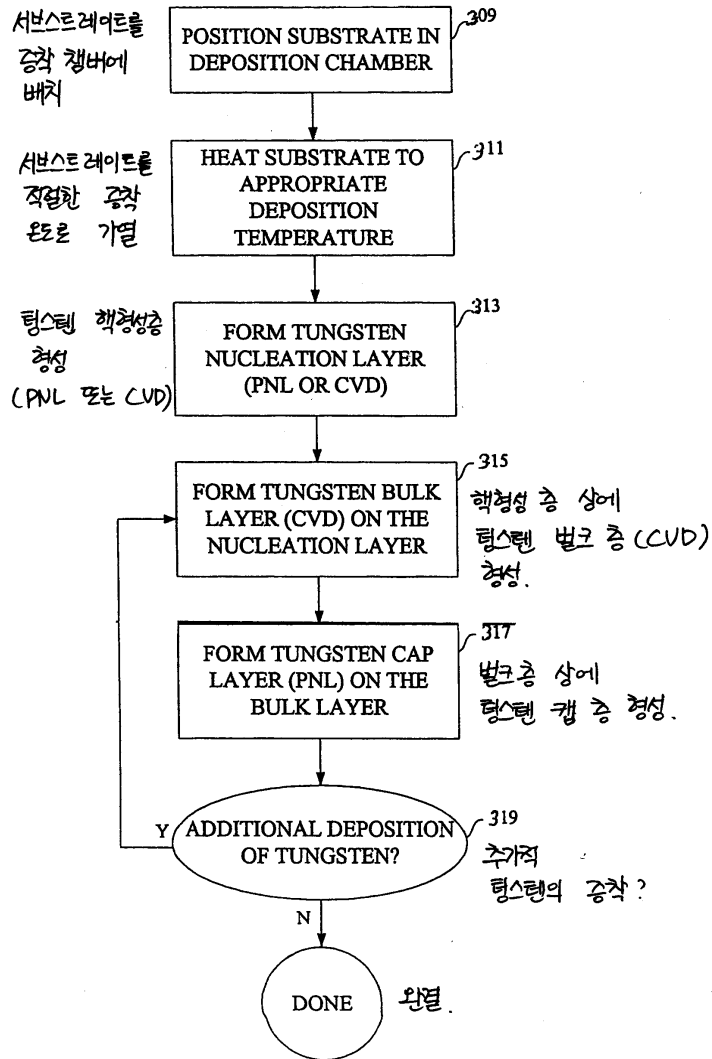
도면2



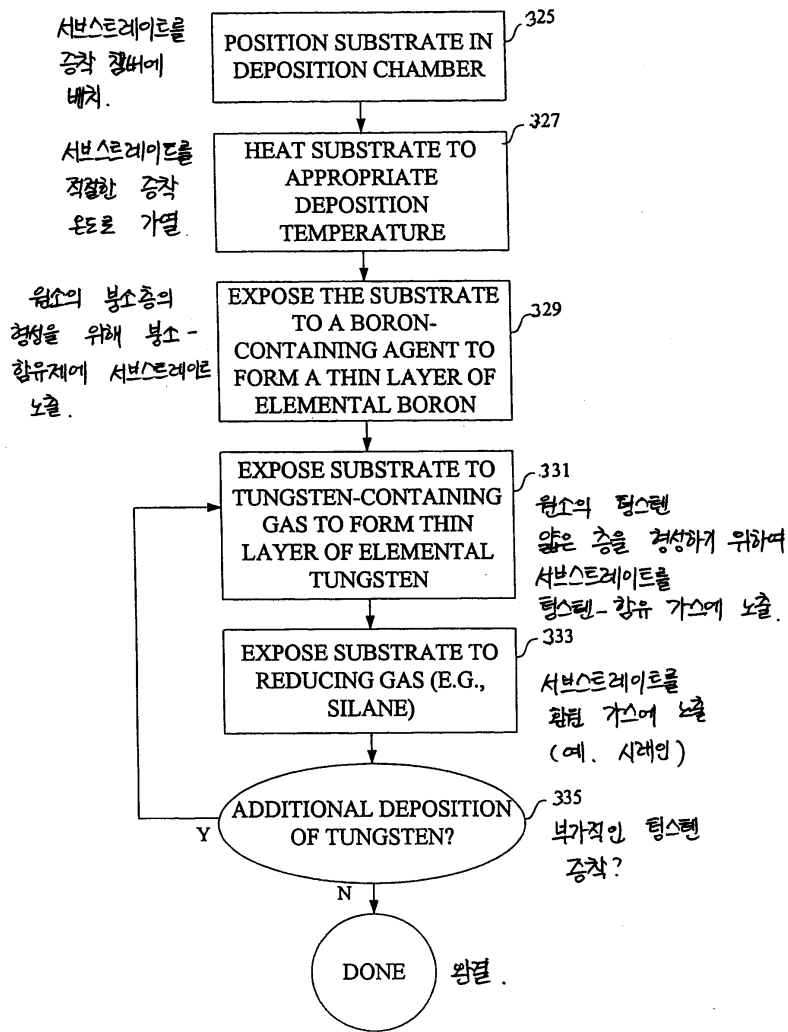
도면3a



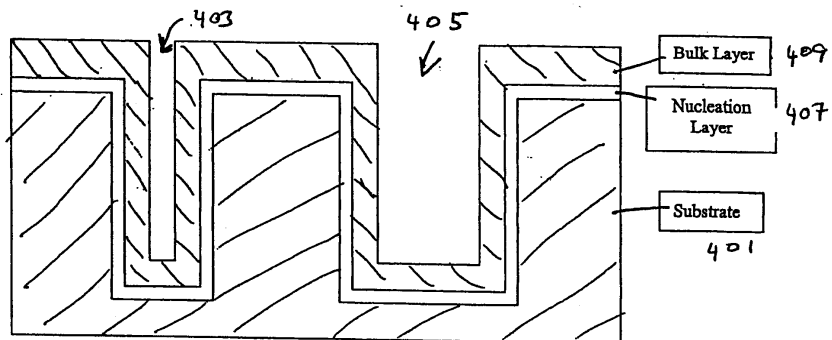
도면3b



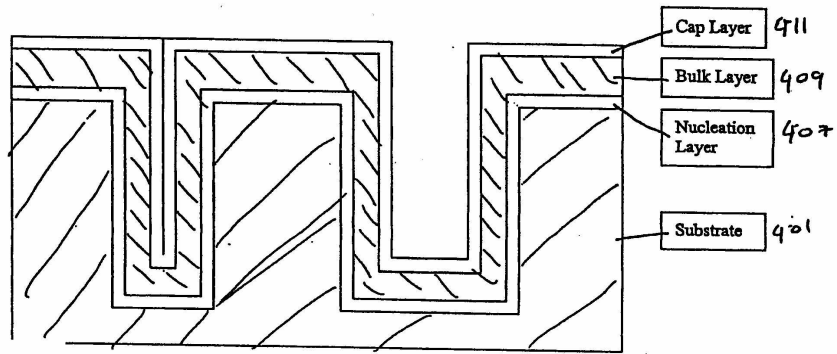
도면3c



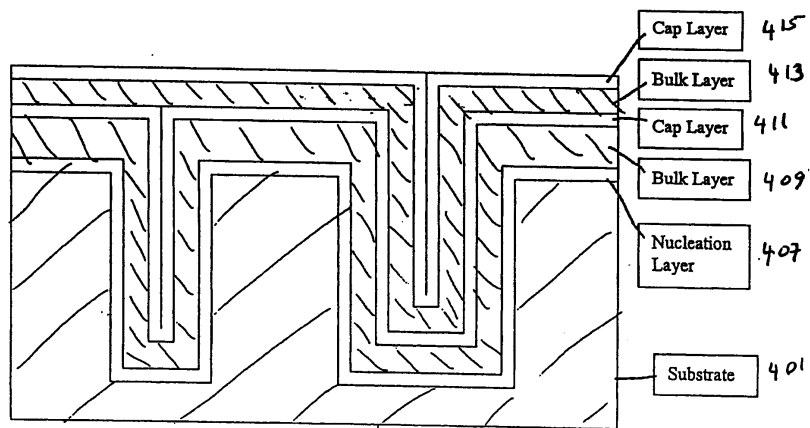
도면4a



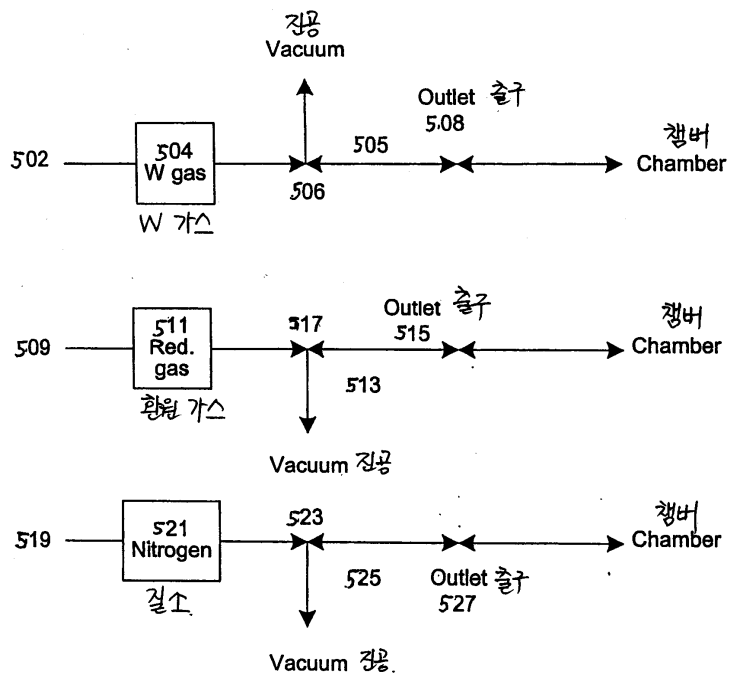
도면4b



도면4c



도면5



도면6

