



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년10월21일

(11) 등록번호 10-2457878

(24) 등록일자 2022년10월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/3065 (2006.01) C23F 1/02 (2006.01)
C23F 1/08 (2006.01) C23F 4/00 (2006.01)
C23G 5/00 (2006.01) G03F 1/00 (2006.01)
H01J 37/32 (2006.01) H01L 21/3213 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H01L 21/3065 (2013.01)
C23F 1/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-7002491

(22) 출원일자(국제) 2015년06월04일

심사청구일자 2020년03월23일

(85) 번역문제출일자 2017년01월26일

(65) 공개번호 10-2017-0020530

(43) 공개일자 2017년02월22일

(86) 국제출원번호 PCT/US2015/034259

(87) 국제공개번호 WO 2016/003596

국제공개일자 2016년01월07일

(30) 우선권주장

14/320,058 2014년06월30일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US05591302 A*

W02004003256 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

도쿄엘렉트론가부시키가이샤

일본 도쿄도 미나토쿠 아카사카 5초메 3반 1고

(72) 발명자

첸 리

미국 텍사스주 78612 시더 크릭 콜로라도 드라이브 383

장 잉

대만 300 신추 시티 이스트 디스트릭트 위안치 세컨드 로드 168

(74) 대리인

김태홍, 김진희

전체 청구항 수 : 총 20 항

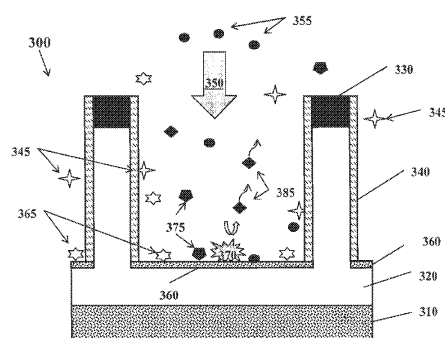
심사관 : 박중현

(54) 발명의 명칭 패시베이션을 이용한 구리의 이방성 에칭

(57) 요약

본 발명에 따른 Cu-함유 층에 피처를 이방성 에칭하는 방법은, Cu-함유 층과, 상기 Cu-함유 층에 형성되어 있는 패터닝된 에칭 마스크를 구비하는 기판으로서, 노출된 Cu-함유 층에서, 상기 패터닝된 에칭 마스크를 통한 처리에 노출되는 것인 기판을 제공하는 단계, 상기 노출된 Cu-함유 층의 제1 면을 패시베이션하는 단계, 및 상기 Cu-함유 층의 제2 면의 패시베이션을 억제하는 단계를 포함한다. 상기 Cu-함유 층의 상기 제2 면 상에 Cu 화합물이 형성되고, 상기 Cu-함유 층에 피처를 이방성 에칭하도록 상기 Cu 화합물이 상기 Cu-함유 층의 제2 면으로부터 제거된다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

C23F 1/08 (2013.01)

C23F 4/00 (2013.01)

C23G 5/00 (2013.01)

G03F 1/20 (2013.01)

H01J 37/32862 (2013.01)

H01L 21/32136 (2013.01)

H01J 2237/334 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

Cu-함유 층에 피처를 이방성 에칭하는 방법으로서:

Cu-함유 층과, 상기 Cu-함유 층에 형성되어 있는 패터닝된 에칭 마스크를 구비하는 기관으로서, 노출된 Cu-함유 층에서, 상기 패터닝된 에칭 마스크를 통한 처리에 노출되는 것인 기관을 제공하는 단계;

상기 Cu-함유 층의 제1 면 상의 패시베이션 가스에 기초하여 패시베이션 층을 형성함으로써 상기 노출된 Cu-함유 층의 제1 면을 패시베이션하는 패시베이션 단계로서, 상기 패시베이션 층은 증착 층 및 성장 층 중 적어도 하나의 층을 포함하고, 상기 성장 층은 불화구리를 포함하는 것인 패시베이션 단계;

상기 Cu-함유 층의 제2 면의 패시베이션을 억제하는 단계;

상기 Cu-함유 층의 상기 제2 면 상에 Cu 화합물을 형성하는 단계; 및

상기 Cu-함유 층에 피처를 이방성 에칭하도록 상기 Cu 화합물을 상기 Cu-함유 층의 제2 면으로부터 제거하는 단계

를 포함하는 이방성 에칭 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 패시베이션 가스는, 불소-함유 가스, 탄화수소 가스, 탄화불소 가스, 및 수소불화탄소 가스 중의 적어도 하나를 포함하는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 패시베이션 층을 형성하는 것은, 상기 Cu-함유 층의 제1 면 상에 탄화수소 또는 탄화불소를 증착하는 것을 포함하는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 패시베이션 층을 형성하는 것은, 상기 Cu-함유 층의 제1 면 상에 상기 패시베이션 가스 및 상기 Cu-함유 층 사이의 반응에 기초하여 Cu-함유 화합물을 성장시키는 것을 포함하는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 패시베이션을 억제하는 단계는, 상기 Cu-함유 층의 제2 면으로부터 패시베이션 물질을 제거하도록, 상기 Cu-함유 층의 제2 면에 반응성 이온 에칭(RIE) 또는 이온-보조 에칭 중의 적어도 하나를 행하는 것을 포함하는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 Cu 화합물을 형성하는 단계는, 상기 Cu-함유 층의 제2 면에 Cu_xO 를 형성하는 것을 포함하는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 Cu_xO 의 형성은, 상기 Cu-함유 층의 제2 면에 O_2 뉴트럴 및 O 이온 중의 적어도 하나를 공급하는 것을 포함하는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 Cu 화합물을 제거하는 단계는, 상기 Cu-함유 층에 피처를 이방성 에칭하도록, 제2 면으로

부터 Cu 화합물을 자발적 이방성 에칭(SAE)하거나 또는 반응성 이온 에칭(RIE)하거나 또는 SAE 및 RIE하는 것을 포함하는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 Cu-함유 층에 형성된 피처에 있어서 바닥면보다 측벽에 패시베이션 층이 우선적으로 형성되는 것인 이방성 에칭 방법.

청구항 10

기관 상의 Cu-함유 층을 에칭하는 방법으로서:

플라즈마 소스 및 기관 홀더를 구비하는 플라즈마 처리 챔버에 기관을 로딩하는 단계로서, 상기 기관은 Cu-함유 층과 이 Cu-함유 층 상에 형성되어 있는 패터닝된 에칭 마스크를 구비하는 것인 로딩 단계;

상기 Cu-함유 층의 노출된 면 상에 패시베이션 층을 형성하는 패시베이션 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계로서, 상기 패시베이션 층은 증착 층 및 성장 층 중 적어도 하나의 층을 포함하고, 상기 성장 층은 불화구리를 포함하는 것인 패시베이션 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계;

상기 Cu-함유 층에 형성된 피처의 노출된 면 상에 제1 Cu-함유 화합물을 형성하는 반응 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계;

상기 제1 Cu-함유 화합물과 반응하여 휘발성 Cu-함유 화합물을 형성하는 환원 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계;

DC, RF, 또는 마이크로파 파워 중의 적어도 하나를 플라즈마 소스에 인가함으로써, 플라즈마 처리 챔버 내에서 플라즈마를 여기시키는 단계;

상기 기관 홀더에 RF 바이어스를 인가하는 단계; 및

상기 Cu-함유 층에 패턴을 형성하도록, 상기 휘발성 Cu-함유 화합물을 플라즈마 처리 챔버로부터 펌핑하는 단계를 포함하는 에칭 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 환원 가스는 산을 포함하는 것인 에칭 방법.

청구항 12

제10항에 있어서, 상기 환원 가스는 CH_3COOH 를 포함하는 것인 에칭 방법.

청구항 13

제10항에 있어서, 상기 환원 가스는 O_2 를 포함하는 것인 에칭 방법.

청구항 14

제10항에 있어서, 상기 환원 가스는 불활성 가스를 더 포함하는 것인 에칭 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 불활성 가스는 He, Ne, Ar, Kr 및 Xe 중의 적어도 하나를 포함하는 것인 에칭 방법.

청구항 16

제10항에 있어서, 상기 패시베이션 가스는, 불소-함유 가스, 탄화수소 가스, 탄화불소 가스, 및 수소불화탄소 가스 중의 적어도 하나를 포함하는 것인 에칭 방법.

청구항 17

제10항에 있어서, 상기 패시베이션 가스, 반응 가스 및 환원 가스는, 일단계 프로세스(single-step process)에

서 동시에 플라즈마 처리 챔버에 도입되는 것인 에칭 방법.

청구항 18

제10항에 있어서, 상기 패시베이션 가스, 반응 가스 및 환원 가스는, 다단계 프로세스(multi-step process)에서 순차적으로 플라즈마 처리 챔버에 도입되는 것인 에칭 방법.

청구항 19

제10항에 있어서, 상기 플라즈마 소스 및 기판 홀더는 플라즈마 처리 챔버의 양단부에 배치되고, 상기 패시베이션 가스 및 반응 가스는 플라즈마 소스의 부근에 도입되며, 상기 환원 가스는 기판 홀더의 부근에 도입되는 것인 에칭 방법.

청구항 20

챔버 세척 방법으로서:

플라즈마 소스 및 기판 홀더를 구비하고 내부면 상에 Cu-함유 층이 증착되어 있는 것인 플라즈마 처리 챔버를 제공하는 단계;

상기 내부면 상의 Cu-함유 층에 제1 Cu-함유 화합물을 형성하는 반응 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계;

상기 제1 Cu-함유 화합물과 반응하여 휘발성 Cu-함유 화합물을 형성하는 환원 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계;

DC, RF, 또는 마이크로파 파워 중의 적어도 하나를 플라즈마 소스에 인가함으로써, 플라즈마 처리 챔버 내에서 플라즈마를 여기시키는 단계;

상기 Cu-함유 층을 상기 내부면으로부터 제거하도록, 상기 휘발성 Cu-함유 화합물을 플라즈마 처리 챔버로부터 펌핑하는 단계

를 포함하고,

상기 환원 가스는 산, CH_3COOH , 및 불활성 가스 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 불활성 가스는 He, Ne, Ar, Kr 및 Xe 중의 적어도 하나를 포함하는 것인 챔버 세척 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로는 구리(Cu)를 에칭하는 방법 및 장치에 관한 것이고, 보다 구체적으로는 패시베이션을 이용한 구리의 이방성 에칭에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 구리(Cu)는 다양한 반도체 용례에서 선택되는 금속으로서 부상하고 있다. 향상된 전자 이동 성능 및 증가된 응력 이동 저항성과 결부된 낮은 전기 저항성은, 상호접속 라인 및 콘택트에 알루미늄(Al)보다 Cu를 사용하는 것을 선호하는 중요한 재료 특성이다. 상기한 낮은 전기 저항성은, RC 시간 지연을 줄임으로써 신호가 더 빠르게 이동할 수 있게 한다. Al 라인에 있어서 흔한 신뢰성 문제, 즉 전자 이동에 대한 우수한 저항성은, Cu가 높은 전력 밀도를 처리할 수 있다는 것을 의미한다.

[0003] 기판을 이방성 처리하는 능력은, 마스크된 상지층의 표면에 실질적으로 수직한 측벽을 갖는 집적 회로 피처를 정확하게 획정된 위치들에 생산하는 것을 허용한다. 반응성 이온 에칭(RIE)에 의한 Al의 이방성 에칭은 잘 발달되어 있다. 예컨대, 염화알루미늄을 에칭 반응의 부산물로서 형성하기 위해 염화물을 사용함으로써, 저온에서 만족스러운 결과가 제공된다. 그러나, 염화구리는 염화알루미늄보다 훨씬 높은 온도에서 형성되기 때문에, Cu는 에칭하기가 더 어렵다. 따라서, 다층 금속배선 아키텍처에의 Cu 도입은, 다마신 기법 등과 같은 Cu 패턴을 위한 신규 처리 방법으로 이어졌다.

[0004] 다마신 기법은, 유전체 재료에 피처를 에칭하는 것과, 상기한 피처에 Cu 금속을 충전하는 것, 그리고 후에만 Cu

를 남겨두면서 CMP 방법을 사용하여 Cu 박막을 화학적 및 물리적으로 연마하는 것에 기초를 두고 있다. 듀얼 다마신 방안은 콘택트 및 상호접속 라인 모두를 단일 처리 방안에 통합한다. 그러나, 다마신 방법은, 매우 미세한 피처를 확정하는 것을 어렵게 만드는 복잡한 프로세스들을 포함하고, CMP는 굽힘, 벗겨짐, 디싱 및 침식의 수율 저하 문제로 인해 곤란하다. 또한, 표준 도금 -CMP 단계들에서 얻어지는 구리 결정 입계에서의 압도적인 전자 산란은, 이에 따른 ~14 nm 세대후 기술(즉, 30 nm 미만의 라인 폭 영역)에서의 RC 지연으로 인하여, 트랜지스터 속도에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높다. 따라서, Cu 패터닝에 다마신 프로세스를 계속 사용할 가능성은 낮을 것이고, 차세대 디바이스 제조를 위해 (AI의 경우와 마찬가지로) 개선된 신뢰할 만한 Cu 에칭 기술을 개발할 필요가 있다.

[0005] 또한, 다수의 웨이퍼의 구리를 건식 에칭한 후에, 챔버 조건이 심하게 변경될 수 있는 것으로 예상된다. 이에 따라, 챔버 안정성이 악화될 것으로 예상되고, 에칭 결과는 표류할 것으로 예상된다. 따라서, 챔버 부품의 표면 상의 Cu 증착물을 제거하여, 챔버의 적절한 시즈닝 조건을 복원할 필요도 또한 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은, 집적 회로에 사용되는 순수 Cu 층과 Cu-함유 층의 이방성 건식 에칭을 위한 방법 및 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 따르면, 상기한 목적과 다른 목적은, Cu-함유 층에 피처를 이방성 에칭하는 방법으로서, Cu-함유 층과, 상기 Cu-함유 층에 형성되어 있는 패터닝된 에칭 마스크를 구비하는 기관으로서, 노출된 Cu-함유 층에서, 상기 패터닝된 에칭 마스크를 통한 처리에 노출되는 것인 기관을 제공하는 단계, 상기 노출된 Cu-함유 층의 제1 면을 패시베이션하는 단계, 및 상기 Cu-함유 층의 제2 면의 패시베이션을 억제하는 단계를 포함하는 이방성 에칭 방법을 제공함으로써 달성된다. 상기 Cu-함유 층의 상기 제2 면 상에 Cu 화합물을 형성하고, 상기 Cu-함유 층에 피처를 이방성 에칭하도록 상기 Cu 화합물을 상기 Cu-함유 층의 제2 면으로부터 제거한다.

[0008] 본 발명의 다른 양태는, 기관 상의 Cu-함유 층을 에칭하는 방법으로서, 플라즈마 소스 및 기관 홀더를 구비하는 플라즈마 처리 챔버에 기관을 로딩하는 단계를 포함하고, 상기 기관은 Cu-함유 층과 이 Cu-함유 층 상에 형성되어 있는 패터닝된 에칭 마스크를 구비하는 것인 에칭 방법이다. Cu-함유 층의 노출된 면 상에 패시베이션 층을 형성하는 패시베이션 가스가, 플라즈마 처리 챔버에 도입되고, Cu-함유 층에 형성된 피처의 노출된 면 상에 제1 Cu-함유 화합물을 형성하는 반응 가스가, 플라즈마 처리 챔버에 도입된다. 상기 방법은, 상기 제1 Cu-함유 화합물과 반응하여 휘발성 Cu-함유 화합물을 형성하는 환원 가스를 상기 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계, DC, RF, 또는 마이크로파 파워 중의 적어도 하나를 플라즈마 소스에 인가함으로써, 상기 플라즈마 처리 챔버 내에서 플라즈마를 여기시키는 단계, 및 상기 기관 홀더에 RF 바이어스를 인가하는 단계를 포함한다. 상기 휘발성 Cu-함유 화합물을 플라즈마 처리 챔버로부터 펌핑하여, 상기 Cu-함유 층에 패턴을 형성한다.

[0009] 또 다른 양태는 챔버를 세척하는 방법이다. 상기 방법은, 플라즈마 소스 및 기관 홀더를 구비하고 내부면 상에 Cu-함유 층이 증착되어 있는 것인 플라즈마 처리 챔버를 제공하는 단계와, 상기 내부면 상의 Cu-함유 층에 제1 Cu-함유 화합물을 형성하는 반응 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하는 단계를 포함한다. 상기 제1 Cu-함유 화합물과 반응하여 휘발성 Cu-함유 화합물을 형성하는 환원 가스가, 플라즈마 처리 챔버에 도입된다. DC, RF, 또는 마이크로파 파워 중의 적어도 하나를 플라즈마 소스에 인가함으로써, 상기 플라즈마 처리 챔버 내에서 플라즈마가 여기되고, 상기 Cu-함유 층을 상기 내부면으로부터 제거하도록, 상기 휘발성 Cu-함유 화합물이 플라즈마 처리 챔버로부터 펌핑된다.

도면의 간단한 설명

[0010] 본 발명과 이에 수반되는 많은 장점은, 이하의 상세한 설명을 첨부 도면과 함께 고려하면서 참조하면 보다 잘 이해되므로, 쉽게 얻어질 것이다.

도 1은 본 발명의 실시형태들에 따른 Cu-함유 층에 피처를 에칭하는 방법을 도시하는 흐름도이고;

도 2a-도 2d는 본 발명의 실시형태들에 따른 Cu-함유 층의 이방성 에칭의 개략적인 단면도이며;

도 3은 본 발명의 실시형태들에 따른 Cu-함유 층의 이방성 에칭을 허용하는 에칭 프로세스의 특징들을 개략적으로

로 보여주는 도면이고;

도 4는 본 발명의 실시형태들에 따라 확산 플라즈마를 생성하는데 사용될 수 있는 RLSA™ 플라즈마 소스의 개략도이며;

도 5는 실시형태들에 따른 Cu-함유 층 에칭용 플라즈마 처리 시스템을 보여주는 도면이며;

도 6은 실시형태들에 따른 Cu-함유 층 에칭용 플라즈마 처리 시스템의 다른 예를 보여주는 도면이고;

도 7은 자기장 시스템을 포함하는, 실시형태들에 따른 Cu-함유 층 에칭용 플라즈마 처리 시스템을 보여주는 도면이며;

도 8은 상부 전극에 대한 RF 파워를 포함하는, 실시형태들에 따른 Cu-함유 층 에칭용 플라즈마 처리 시스템을 보여주는 도면이고;

도 9는 유도 코일을 포함하는, 실시형태들에 따른 Cu-함유 층 에칭용 플라즈마 처리 시스템을 보여주는 도면이며;

도 10은 RF 파워를 기판 홀더에 연결하는 제2 RF 발생기를 포함하는, 실시형태들에 따른 Cu-함유 층 에칭용 플라즈마 처리 시스템을 보여주는 도면이고;

도 11은 본 발명의 실시형태에 따른 Cu-함유 층을 에칭하는 방법을 보여주는 흐름도를 제공하며;

도 12는 본 발명의 실시형태들에 따라 사용될 수 있는 유기 화합물 공급 유닛의 예를 보여주는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 이제, 유사한 도면부호가 여러 도면에 걸쳐서 대응하거나 동일한 요소를 표시하고 있는 첨부 도면들을 참조하여, 실시형태들을 설명한다.
- [0012] 상기 발명의 배경이 되는 기술에 언급한 바와 같이, Cu 층의 패턴 에칭을 위한 신뢰할 만한 기술을 개발할 필요가 있다. 에칭 프로세스는 일반적으로, Cu-함유 층(순수 Cu 층 포함) 위에 패턴링된 하드 마스크 또는 포토레지스트를 제공하는 단계와, Cu-함유 층의 노출된 부분을 마스크를 통해 에칭하는 단계를 포함한다.
- [0013] F-Cu 화합물은 안정적이고 불화막 두께가 매우 얇은 레벨(예컨대, ~ 1 nm에서 최대 수 nm)에서 포화되므로, 불소-구리 에칭 시스템이 사용될 수 있다. 또한, 후속 웨이퍼 제조 단계들 동안에는, Cu 벌크로의 F의 확산이 없다. 그러나, 본 발명자들은, RIE-기반 에칭 프로세스의 경우에 F-Cu 화합물이 과도하게 휘발성이라는 것을 인식하였다. RIE의 경우에 Cl 등과 같이 원자번호가 더 높은 할라이드(> F)가 높은 웨이퍼 온도에서 휘발성이지만, 본 발명자들은 또한, 염화물의 비포화 특성이 Cl의 Cu 벌크로의 확산을 허용하여, Cu의 Cl 기반 에칭을 제조에 실용화할 수 없게 한다는 것을 인식하였다.
- [0014] 또한, 2단계 플라즈마 에칭 프로세스가 Cu의 에칭을 위해 개발되었다. 예를 들어, 제1 단계는, Cu를 $CuCl_x$ 화합물로 변환시키기 위해 Cl-기반 플라즈마를 사용한 후 $CuCl$ 화합물을 제거하기 위해 습식 화학 용액을 사용하는 것[Y. Kuo 및 S. Lee, ECS Proc. 99-30, 328, 1999], 또는 나중에 실온에서 H_2 플라즈마 처리에 의해 Cu_2Cl_3 로서 휘발되는 $CuCl_2$ 를 먼저 형성하기 위해 Cl_2 플라즈마 노출을 사용하는 것[Fangyu Wu, Galit Levitin 및 Dennis W. Hess, J. Electrochem. Soc., Vol. 157, issue 4, pp H474-H478 (2010)]을 포함한다. 이들 문헌의 모든 내용은 본원에 참조로 인용되어 있다. 그러나, 기술 노드가 님-나노미터 영역으로 진전함에 따라, Cl-기반 플라즈마 에칭의 주요 문제는, 임계 치수(CD) 제어성 또는 소위 라인 에지/폭 거칠기(LER 또는 LWR) 문제이다.
- [0015] 종래의 염소 화학을 사용하여 Cu-함유 층을 에칭할 때 당면하게 되는 기술 한계들은, 염소계 반응 물질을 수반하지 않는 화학적 기법을 사용하는 반도체 제조에서, 새로운 저온 건식 에칭 방법이 필요하다는 것을 보여준다.
- [0016] 일반적으로, 본 발명의 실시형태는, 집적 회로의 제조에서 Cu-함유 층(순수 Cu 층 포함)을 에칭하는 방법 및 장치에 관한 것이다.
- [0017] 도 1은 본 발명의 실시형태들에 따른 Cu-함유 층에 피처를 에칭하는 방법을 도시하는 흐름도이다. 도시된 바와 같이, 단계 102는 Cu-함유 층과, 상기 Cu-함유 층 상에 형성되어 있고 상기 Cu-함유 층의 일부분을 노출시키는

에칭 마스크를 구비하는 기판을 제공하는 단계를 포함한다. 단계 104에서는 노출된 Cu-함유 층의 제1 면이 패시베이션되는 데 반하여, 단계 106에서는 노출된 Cu-함유 층의 제2 면에서 패시베이션이 억제된다. 단계 108에서는 상기 Cu-함유 층의 제2 면에 Cu-화합물이 형성된다. 그 후에, 단계 110에서 확인되는 바와 같이, Cu-함유 층을 이방성 에칭하도록, Cu-화합물은 제2 면으로부터 제거된다.

[0018] 도 2a~도 2d는 본 발명의 실시형태들에 따른 Cu-함유 층의 이방성 에칭의 개략적인 단면도이다. 도 2a는 부분적으로 완성된 집적 회로를 보여준다. 세그먼트(200)는 기판(210), Cu-함유 층(220) 및 하드 마스크 또는 포토레지스트 재료(230)를 포함하고 구조를 완성한다. Cu-함유 층의 이방성 에칭을 달성하기 위해, Cu-함유 층의 위에 놓이며 Cu-함유 층에서 행해지는 에칭 프로세스에 대해 저항성을 갖는 레지스트 또는 하드 마스크 재료가 요구된다. 도 2a의 세그먼트(200)는, 도 2b의 패터닝된 마스크 층(230')을 생성하기 위해, 당업계에 알려져 있는 종래의 패터닝 방법을 이용하여 처리된다. 또한, 본 발명에 따른 도 2b의 구조의 이방성 에칭은, 마스크 패턴(230')에 의해 확정되는 구조의 수직 기하형상을 보존하면서 Cu-함유 층(220)을 에칭하여, 도 2c에 도시된 구조(250)를 형성한다. 당업계에서 관례적인 바와 같이, 계속되는 처리에 의해, 남아 있는 포토레지스트 또는 하드 마스크 패턴(230')이 제거될 수 있고, 그 결과 도 2d에 도시된 바와 같이 피처(260)를 갖는 패터닝된 Cu-함유 층이 얻어진다.

[0019] 도 3은 본 발명의 예시적인 실시형태들에 따른 Cu-함유 층의 이방성 에칭을 허용하는 에칭 프로세스의 특징들을 개략적으로 보여준다. 도 1에서 언급되는 바와 같이, 프로세스는 마스크된 Cu-함유 층을 갖는 기판을 제공하는 단계 102에서 시작된다. 특히, 이방성 에칭 프로세스를 수행하도록, 기판은 플라즈마 처리 챔버 내에서 기판 홀더 상에 로딩된다. 플라즈마 에칭기는, 도 4~도 10에서 후술되는 것 등과 같은, 기판 홀더에 바이어스를 인가할 수 있는 임의의 타입의 것일 수 있다. 도 3의 세그먼트(300)는, 기판(310)의 위에 놓이는 Cu-함유 층(320)과, Cu-함유 층(320)의 위에 놓이는 마스크 패턴(330)을 포함하는, 부분적으로 완성된 집적 회로를 보여준다. 일반적으로, 간단한 하드 마스크 등과 같은 임의의 적절한 마스크 재료들이 고려될 수 있다. 도 3의 구조의 이방성 에칭은, 포토레지스트 패턴(330)에 의해 확정되는 구조의 수직 기하형상을 보존하면서 Cu-함유 층(320)을 제거한다.

[0020] 도 1의 패시베이션 단계 104는, 패시베이션 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입함으로써 수행된다. 도 3에 도시된 바와 같이, 패시베이션 가스 분자(345)가 노출된(마스크되지 않은) Cu-함유 층에 제공되어 패시베이션된 면(340)을 형성한다. 도 3의 실시형태에서, 패시베이션된 면은 Cu-함유 층(320)의 피처의 수직 측면 상에 있다. 이하에 더 설명되는 바와 같이, 패시베이션은 Cu-함유 층 상에의 증착 또는 Cu-함유 층 상에서의 Cu 화합물 성장에 의해 일어날 수 있다.

[0021] 패시베이션 가스(345)는 또한, Cu-함유 층(320)의 피처의 바닥면에 제공되지만, 이 바닥면의 패시베이션은 억제된다(도 1의 단계 106). 보다 구체적으로는, 플라즈마는 처리 챔버에서 형성되고, 기판 홀더 상의 바이어스가 플라즈마 이온(355)을 화살표 350을 따라 기판을 향해 보낸다. 방향성 이온(355)은, 상기 피처의 바닥(수평)면 상의 임의의 패시베이션 물질을 제거하기에 충분한 에너지를 갖고서 상기 피처의 바닥면에 충돌하지만, 패시베이션 면(340)에 상기한 제거 효과를 나타내지 않는다. 방향성 이온(355)은, 반응성 가스 이온 또는 불활성 가스 이온일 수 있다. 반응성 이온 에칭(RIE), 이온 보조 에칭, 또는 RIE 및 이온 보조 에칭 양자 모두가, 본 발명의 실시형태들에 따라 피처 바닥에 패시베이션 물질이 묻지 않게 유지하는 데 사용된다.

[0022] 플라즈마 처리 챔버에 반응 가스를 도입함으로써, 패시베이션되지 않은 면 상에 Cu-화합물이 형성된다(도 1의 단계 108). 도 3에 도시된 바와 같이, 반응 가스 분자(365)가 패시베이션된 측면(340) 상에 Cu-화합물을 형성할 수 없는 반면에, 반응 가스 분자(365)는 피처의 패시베이션되지 않은 바닥면 상에 Cu-화합물 층(360)을 형성한다. 반응성 가스 분자는 중성이거나 또는 이온화될 수 있다. 일 실시형태에서, 피처 바닥을 깨끗하게 유지하기 위해 활성 이온을 제공하도록, 그리고 피처 바닥에 Cu_xO 를 형성하기 위해 반응성 산소를 제공하도록, 산소 플라즈마가 형성된다. 즉, 일 실시형태에서, 반응 가스(365)의 이온인 방향성 이온(355)을 플라즈마가 제공한다.

[0023] 환원 가스가 Cu-화합물(360)을 제거하도록 챔버에 도입되고, 이에 의해 Cu-함유 층을 이방성 에칭한다(도 1의 단계 110). 도 3을 참조하면, Cu-화합물 층(360)은 환원 가스 분자(375)에 노출되고, 그 결과 Cu-화합물 층을 제거하는 환원 반응(370)이 일어난다. 구체적으로, 환원 가스 분자(375)는 Cu-함유 화합물과 반응하여 휘발성 Cu-함유 화합물(385)을 형성하고, 그 후에 이 휘발성 Cu-함유 화합물은 Cu-함유 층(320)의 피처를 에칭하도록 플라즈마 처리 챔버로부터 제거된다. Cu-화합물(360) 및 Cu-함유 층(320)의 에칭은 자발적 이방성 에칭(SAE) 또는 반응성 이온 에칭(RIE) 또는 양자 모두에 의해 일어날 수 있다. 환원 가스 분자(375)는, 패시베이션 가스

분자(345)로 만들어지는 측벽 부동화제(340)에 대해 비활성이다.

[0024] 일 실시형태에서, O_2 는 반응 분자의 역할을 맡고, Cu-함유 층의 SAE는 O_2 -베이스 플라즈마에서 수행된다. 일반적으로 하드 마스크(예컨대, TiN, SiO_2 , Si_3N_4 등)가 O_2 플라즈마용 마스크킹 방법으로서 사용된다. 예를 들어, 처리 챔버에의 공급 가스가, 패시베이션 가스+ O_2 가스+환원 가스를 포함할 수 있다. Ar 등과 같은 불활성 가스가 선택적인 첨가제이다. (Ar이 있거나 없거나) RIE 또는 이온-보조 에칭을 통해 O_2 는, 피쳐-바닥을, 패시베이션 가스 분자로 만들어지는 측벽 부동화제가 없는 상태로 유지하여, 피쳐-바닥에 Cu_xO 만을 남겨둔다. 패시베이션 가스 분자로 만들어지는 부동화제에 의해 Cu 측벽이 보호되는 반면에, Cu_xO 는 환원 가스 분자와 자발적으로 반응하여, 휘발성 Cu 화합물 에칭 생성물을 형성하고, 이후에 Cu_xO 를 형성하기 위해 준비되는 깨끗한 Cu 피쳐-바닥을 노출시키며, 뒤이어 환원 가스 분자에 의해 자발적으로 에칭한다.

[0025] 환원 가스는 유기 화합물 가스인 것이 바람직하다. 유기 화합물에 관해 살펴보면, 진공 상태로 유지된 플라즈마 처리 시스템에, 그대로 또는 가열에 의해 기체 상태로 공급될 수 있는 유기 화합물을 사용하는 것이 바람직하다. 통상적으로, 유기산이 사용된다. 유기산에 관해 살펴보면, 아세트산(일반식: $R-COOH$, R은 수소이거나 또는 C_1 - C_{20} 의 직쇄 혹은 분지쇄 알킬 혹은 알케닐, 바람직하게는 메틸, 에틸, 프로필, 부틸, 펜틸, 또는 헥실)으로 대표되는 카르복실산을 사용하는 것이 바람직하다. 아세트산 이외의 카르복실산은 포름산($HCOOH$), 프로피온산(CH_3CH_2COOH), 부티르산($CH_3(CH_2)_2COOH$), 발레르산($CH_3(CH_2)_3COOH$) 등을 포함할 수 있다. 카르복실산 중에서, 포름산, 아세트산 및 프로피온산이 더 바람직하게 사용된다.

[0026] 상기 유기 화합물이 아세트산인 경우, 산화구리와 아세트산 사이의 반응이 촉진되고, 휘발성 $Cu(CH_3COO)$ 및 H_2O 가 생성된다. 결과적으로, 산화구리 분자는 Cu막으로부터 분리된다. 포름산 또는 프로피온산 등과 같은 아세트산 이외의 다른 유기 화합물(유기산)을 사용하는 경우에도, 동일한 반응이 일어난다. 그 결과, Cu막이 에칭된다. 따라서, Cu 플라즈마 에칭을 위한 비(非)-염소(또한 비-브롬) 기반의 이온 보조 또는 RIE 방법이 제공된다.

[0027] 다른 실시형태에서, CH_3COOH 는 환원 가스 분자의 역할을 맡고, 챔버에의 공급 가스는 패시베이션 가스+ O_2 + CH_3COOH (+Ar 선택적)가 된다. CuO 및 Cu_2O 와 CH_3COOH 의 자발적 반응은, 2001년에 Dennis W. Hess와 K. L. Chavez에 의해 연구되고 발표되었다. 2011년 건식 처리 심포지엄에서, T. Suda(N. Toyoda), I. Yamada(효고 Univ), 및 Keniichi Hara(Tokyo Electron Ltd.)는, $1E(-5)$ torr 정도의 저압에서 Cu_xO 와 CH_3COOH 사이의 강한 반응성을 입증하였다. 다음 반응이 일어난다:

[0028] $Cu+2CH_3COOH \rightarrow Cu(CH_3COO)_2+H_2O$ (1)

[0029] $Cu_2O+4CH_3COOH \rightarrow 2Cu(CH_3COO)_2+H_2O+H_2$ (2)

[0030] 따라서, 반응의 휘발성 생성물은 $Cu(CH_3COO)_2$ 이다.

[0031] 이러한 화학 시스템에서 Cu의 SAE를 달성하는 핵심 요소는, 측벽 패시베이션을 제공하는 패시베이션 분자의 추가이다. Cu-함유 화합물의 증착 또는 성장을 비롯한, 측벽 패시베이션을 달성하는 많은 방법이 있다. 간단한 일례는 C_2H_4 등과 같은 탄화수소 폴리머의 증착을 통한 것이다. O-기반 플라즈마가 측벽 상의 C-기반 패시베이션 층을 소모할 것이라는 것이 알려져 있다. 따라서, 프로세스 레시피는, 이온-보조 화학 에칭 또는 RIE를 통해 피쳐-바닥을 탄화수소 증착물이 없는 상태로 유지하면서, 등방성 O 라디칼(또한 O_2 등)에 의한 공격을 견디는 측벽 탄화수소 증착물을 생성할 수 있어야 한다. 예를 들어, 폴리에틸렌 폴리머 증착은 C_2H_4 를 패시베이션 분자로서 사용함으로써 달성될 수 있다. 가스 혼합물의 예는, 앞서 언급한 반응 (1) 및 (2)를 일으키는 $C_2H_4+O_2+CH_3COOH+Ar$ 일 수 있다.

[0032] 측벽 증착 부동화제의 다른 편리한 예가 탄화불소이다. 예를 들어 CHF_3 , C_4F_8 , C_5F_8 , C_2F_6 등의, 사용 가능한 패시베이션 분자가 많이 있다. 탄화수소 증착물과 마찬가지로, 탄화불소 증착물도 또한 O 라디칼 및 O_2 뉴트럴 등에 의한 공격을 받기 쉽다. 따라서, 레시피는, 이온-보조 화학 에칭 또는 RIE를 통해 피쳐-바닥을 CF_x 가 없게 하면서, 패시베이션된 CF_x 측벽을 유지해야 한다.

- [0033] 측벽 부동화제는 증착물일 필요가 없고; 성장된 Cu 화합물의 증일 수 있다. 일례는, Cu-O 결합보다 강할뿐만 아니라, F가 Cu 벌크로 확산될 우려가 낮아질 정도로 안정적인, Cu-F 결합을 제공하는 CuF_x 측벽 부동화제이다. 또한, CH_3COOH 에 의한 에칭은 SAE, RIE, 또는 이온-보조 에칭, 또는 이들 메커니즘들 전체의 조합에 의해 일어날 수 있다. CF_x 측벽 부동화제의 경우, 이온-보조 프로세스 및 자발적 프로세스 모두에 의한 이방성 Cu 에칭이 바람직할 수 있다.
- [0034] 예를 들어, NF_3 가 F 원자의 강력한 공급원이므로, $\text{NF}_3+\text{O}_2+\text{CH}_3\text{COOH}+\text{Ar}$ 의 가스 혼합물이 사용될 수 있다. 다음 반응이 일어난다:
- [0035] $\text{SAE: CuO}+2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2+\text{H}_2\text{O}$ (3)
- [0036] $\text{RIE: CuO}+\text{CuF}_2+4\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 2\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2+\text{H}_2\text{O}+2\text{HF}$ (4)
- [0037] 이 실시형태에서, 플루오르화 및 산화는 모든 표면에서 일어나지만, CH_3COOH 에 의한 Cu_xO 의 자발적인 에칭은 CuF_x -온리 상태에 이르기까지 측벽을 공격시키고, 그 결과 측벽이 부동화된다. 피처-바닥 Cu_xO 는 CH_3COOH 에 의해 자발적으로 에칭될 것인데; Cu-F 결합이 강할수록 CuF_x 와 CH_3COOH 사이의 반응이 더 약해지고, 그 결과 CuF_x 에 의한 마이크로-마스킹이 피처-바닥에서 일어났다. 그러나, 피처-바닥의 Cu_xO 및 CuF_x 에 대한 동시 이온 충격은, Cu-F 결합을 약화시킬 수 있고, HF 및 추가 $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 의 에칭 생성물로서의 형성을 초래할 수 있다. 소기의 에칭 결과를 얻기 위해, O_2/NF_3 의 비를 제로(RIE만 제공)에서부터 제로가 아닌 몇몇 수(SAE 및 RIE 제공)까지 연속적으로 조절될 수 있다는 점을 주목해야 할 필요가 있다.
- [0038] NF_3 가 사용되고 Cu_3N 이 몇몇 잠재적 문제를 유발할 수 있는 경우에는, XeF_2 , F_2 등이 고려될 수 있다. 예를 들어, $\text{XeF}_2+\text{O}_2+\text{Ar}+\text{CH}_3\text{COOH}$ 의 공급 가스가 앞서 언급한 반응 (3) 및 (4)를 초래하도록 챔버에 도입될 수 있다. F-온리 소스(Xe는 불활성임)를 사용하면, 측벽 반응에 있어서 CuF_x -온리 범위가 보장된다.
- [0039] 상기한 모든 예는 "일단계(single-step) 플라즈마 프로세스"이지만, "다단계(multi-step)" 프로세스가 이용될 수 있다. 또한, RIE 또는 이온 보조 에칭에 의한 패시베이션을 억제하는 것과 관련하여 플라즈마 발생을 거론하지만, 플라즈마가 다단계 프로세스의 다른 부분 동안에 유지될 수 있다. 다단계 방법은, 앞서 거론한 탄화수소 및 탄화불소 등과 같은 모든 타입의 부동화제에 적용 가능하다. 여기서, CuF_x 부동화제는 다단계 방법을 보여주는 예로서 사용된다: 제1 단계에서, 모든 곳에 CuF_x 를 형성하도록, 약한 XeF_2 의 플라즈마가 생성된다. 제2 단계에서, Ar 플라즈마가 생성되고, Cu-온리 피처-바닥을 얻기 위한 바이어스 파워가 피처-하부의 Ar 이온 충격을 통해 생성된다. 제3 단계는, 측벽 CuF_x 를 부동화제로서 남겨 두면서, 피처-바닥에 Cu_xO 를 형성하기 위해, 바이어스로 O_2 플라즈마 처리하는 것이다. 제4 단계에서는, CH_3COOH 가 도입되며, 피처-바닥의 Cu_xO 를 플라즈마의 점화 없이 자발적으로 에칭한다. 피처를 더 깊게 형성하기 위해, 상기 4개의 단계를 반복하여 Cu 에칭을 계속 행한다.
- [0040] 다른 다단계 예로서: 단계 1은 모든 곳에 폴리에틸렌을 증착하는 C_2H_4 플라즈마 처리이다. 단계 2는 피처-바닥으로부터 폴리에틸렌을 에칭하고 피처-바닥에 Cu_xO 를 형성하기 위해, 바이어스로 $\text{Ar}+\text{O}_2$ 플라즈마 처리하는 것이다. 단계 3은 CH_3COOH 를 도입하여, 피처-바닥으로부터 Cu_xO 를 플라즈마 없이 자발적으로 에칭한다. 또, 더 깊게 에칭하기 위해, 사이클을 반복한다.
- [0041] 일 실시형태에서, 기관 상의 Cu-함유 층을 에칭하는 방법은, 플라즈마 소스 및 기관 홀더를 구비하는 플라즈마 처리 챔버에 기관을 로딩하는 단계를 포함하고, 상기 기관은 전술한 바와 같이 Cu-함유 층과 이 Cu-함유 층 상에 형성된 에칭 마스크를 구비하는 것이다. 제1 RF 또는 마이크로파 파워를 플라즈마 소스에 인가하면서, 제1 구리-함유 화합물, 패시베이션 층, 또는 이들의 조합을, 상기 구리-함유 층에 형성된 피처의 노출된 면 상에 형성하는 패시베이션 가스를, 플라즈마 처리 챔버에 도입한다. 제2 RF 또는 마이크로파 파워를 플라즈마 소스에 인가하면서, 불활성 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하고, 제3 RF 또는 마이크로파 파워를 플라즈마 소스에 인가하면서, 반응 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입한다. 전술한 바와 같이, 반응 가스는 구리-함유 층에 형성된 피처의 노출된 면 상에 제2 구리-함유 화합물을 형성한다. 상기 제2 구리-함유 화합물과 반응하여 휘발성

구리-함유 화합물을 형성하는 환원 가스를 플라즈마 처리 챔버에 도입하고, 상기 휘발성 구리-함유 화합물을 플라즈마 처리 챔버로부터 펌핑한다. 상기한 단계들은, 패턴이 구리-함유 층에 형성될 때까지 반복된다. 이들 단계 중 어느 하나의 동안에, 불활성 가스가 도입될 수 있다.

[0042] 특정 에칭 프로세스를 행하는 지속 시간은, 실험 계획(DOE) 기술 또는 종래의 경험을 이용하여 결정될 수 있지만; 중점 검출을 이용하여 결정될 수도 있다. 중점 검출의 한 가지 가능한 방법은, 플라즈마 영역으로부터 발광된 빛의 스펙트럼에 있어서, 하위 박막과 접해 있는 특정 재료층이 변화되거나 기관으로부터의 제거의 완료에 실질적으로 가까워지는 것으로 인해, 플라즈마 케미스트리의 변화가 일어나는 때를 나타내는 부분을, 모니터링하는 것이다. 모니터링된 파장에 대응하는 발광 레벨이 지정해 놓은 임계값을 지나간 후에(예컨대, 실질적으로 0까지 떨어지거나, 특정 레벨 밑으로 떨어지거나, 또는 특정 레벨 위로 올라간 후), 중점에 도달한 것으로 고려될 수 있다. 사용되는 에칭 케미스트리와 에칭되는 재료층에 대해 특정되어 있는 여러 파장을 사용할 수 있다. 또한, 에칭 시간은 오버 에칭 기간을 포함하도록 연장될 수 있는데, 이 오버 에칭 시간은 에칭 프로세스의 시작과 중점 검출에 관련된 시간과의 사이의 시간의 비율(즉, 1%~100%)이 된다.

[0043] 에칭 성능은 또한, 에칭기에 사용되는 플라즈마의 타입에 의해 크게 영향을 받을 것이다. 앞서 언급한 바와 같이, SAE에는 어느 정도의 바이어스 파워가 요구된다. 플라즈마 특성이 플라즈마 케미스트리에 영향을 미치므로, 플라즈마 소스의 성질도 또한 에칭 성능에 영향을 미칠 것이다. CH_3COOH 는 반응의 핵심 분자인데, 그 해리는 제어되어야 한다. 더 중요하게는, 휘발성 Cu 화합물 에칭 생성물, 즉 $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 는, 일단 플라즈마 본체에 들어가면, 해리되어서는 안 된다(최소 요건에서, 그 해리는 가능한 한 최소화되어야 한다). 상기한 요건들을 충족시키는 데에는, 확산 플라즈마가 이상적이다.

[0044] 마이크로파 표면과 플라즈마가 확산 플라즈마를 제공하는 데 사용될 수 있다. 일반적으로, 마이크로파 표면과 플라즈마는, 현실적인 물리적 크기의 웨이퍼-에칭기에서, 실제 확산 플라즈마를 웨이퍼 레벨로 생성할 수 있는 유일한 플라즈마 소스이다. 도 4는 본 발명의 실시형태들에 따라 확산 플라즈마를 생성하는데 사용될 수 있는 레이디얼 라인 슬롯 안테나(RLSA™) 플라즈마 소스의 개략도이다. 도 4에 도시된 실시형태에서, 환원 가스 투입부(440)는 기관에 인접해 있고, 패시베이션 가스 및 반응 가스 투입부(450)는 마이크로파 파워가 연결되어 있는 RLSA(460)에 인접해 있다. 도 4에서, 확산 플라즈마(즉, 웨이퍼 레벨)에서의 해리가 실질적으로 제거된다. 결과적으로, 에칭 생성물 $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 는 Cu의 재증착 없이 밖으로 펌핑될 수 있다. 또한, CH_3COOH 를 확산 플라즈마(즉, 웨이퍼 레벨 부근)에 공급하는 것에 의해, 그 해리가 실질적으로 제거된다. 또한, 환원 가스 분자(475) 및 휘발성 반응물(485)이 도 4에 도시되어 있다.

[0045] 도 5는 실시형태들에 따른 Cu-함유 층 에칭용 플라즈마 처리 시스템을 보여준다. 플라즈마 처리 시스템(1)은, 플라즈마 처리 챔버(10), 플라즈마 처리 챔버(10)에 연결된 선택적 진단 시스템(12), 및 선택적 진단 시스템(12)과 플라즈마 처리 챔버(10)에 연결된 제어기(14)를 포함한다. 본원에 기술된 바와 같이, 제어기(14)는 Cu-함유 층을 에칭하도록 되어 있는 적어도 하나의 단계를 포함하는 프로세스 레시피를 실행하도록 구성된다. 추가적으로 제어기(14)는, 진단 시스템(12)으로부터 적어도 하나의 중점 신호를 수신하고 프로세스에 대한 중점을 정확하게 결정하기 위해 적어도 하나의 중점 신호를 후처리하도록 선택적으로 구성된다. 별법으로서, 제어기(14)는 프로세스의 중점을 설정하기 위해 미리 정해놓은 시간을 이용한다. 예시된 실시형태에서, 도 5에 도시된 플라즈마 처리 시스템(10)은 에칭 처리를 위해 플라즈마를 이용한다.

[0046] 도 6은 다른 실시형태에 따른 플라즈마 처리 시스템을 보여준다. 플라즈마 처리 시스템(1a)은 플라즈마 처리 챔버(10), 처리 대상인 기관(25)이 위에 부착되는 기관 홀더(20), 및 진공 펌핑 시스템(30)을 포함한다. 기관(25)은 반도체 기관, 웨이퍼, 또는 액정 디스플레이일 수 있다. 플라즈마 처리 챔버(10)는, 기관(25)의 표면 부근의 처리 영역(15)에 플라즈마를 형성할 수 있게 하도록 구성될 수 있다. 이온화 가능한 가스 또는 가스의 혼합물이 가스 주입 시스템(도시 생략)을 통해 도입되고 프로세스 압력은 조정된다. 예를 들어, 제어 기구(도시 생략)가 진공 펌핑 시스템(30)을 스로틀링하는 데 사용될 수 있다. 플라즈마는 소정 재료 프로세스에 특화된 재료를 만들어내는 데에, 및/또는 기관(25)의 노출면으로부터 재료를 제거하는 것을 돕는 데에 사용될 수 있다. 플라즈마 처리 시스템(1a)은 임의의 크기의 기관, 예를 들어 200 mm 기관, 300 mm 기관, 450 mm 기관, 또는 그보다 큰 기관 등을 처리하도록 구성될 수 있다.

[0047] 기관(25)은 정전 클램핑 시스템을 통해 기관 홀더(20)에 부착될 수 있다. 또한, 기관 홀더(20)는 여러 에칭 프로세스 동안 기관(25)의 온도를 제어하기 위한 온도 제어 시스템을 더 포함할 수 있다.

[0048] 또한, 기관 홀더(20)는, 기관(25)과 기관 홀더(20) 사이의 가스 갭 열전도도를 향상시키도록, 열 전달 가스를

이면 가스 공급 시스템을 통해 기관(25)의 이면에 이송하는 것을 가능하게 할 수 있다. 이러한 시스템은, 고온 또는 저온에서 기관의 온도 제어가 요구될 때 사용될 수 있다. 예컨대, 상기 이면 가스 공급 시스템은 2구역 가스 분배 시스템을 포함할 수 있는데, 이 경우 이면 가스(예컨대, 헬륨)의 압력은 기관(25)의 중앙과 가장자리 사이에서 독립적으로 변경될 수 있다.

[0049] 다른 실시형태에서는, 저항 가열 요소, 또는 열전 히터/쿨러 등과 같은 가열/냉각 요소는, 플라즈마 처리 챔버(10)의 챔버 벽과 플라즈마 처리 시스템(1a) 내의 임의의 다른 구성 요소 내에 포함될 수 있다.

[0050] 도 6에 도시된 실시형태에서는, 기관 홀더(20)가 전극을 포함하고, 이 전극을 통해 RF 파워가 프로세스 공간(15)의 처리 챔버에 연결되어 있다. 예를 들어, 기관 홀더(20)는, RF 파워를 RF 발생기(40)로부터 선택적 임피던스 매칭 네트워크(42)를 통하여 기관 홀더(20)에 전송하는 것을 통해, RF 전압으로 전기적으로 바이어스될 수 있다. RF 바이어스는, 전자를 가열하여 플라즈마를 형성 및 유지시키는 역할, 또는 외피 내의 이온 에너지 분포 함수에 영향을 주는 역할, 또는 두 역할 모두를 할 수 있다. 이러한 구성에서, 플라즈마 처리 시스템은 반응성 이온 에칭(RIE) 반응기로서 작용할 수 있고, 이 경우 챔버는 접지면의 역할을 할 수 있다. 대표적인 RF 바이어스용 주파수는 0.1 MHz 내지 100 MHz의 범위일 수 있다. 플라즈마 처리용 RF 시스템은 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0051] 또한, 임피던스 매칭 네트워크(42)는, 반사 파워를 감소시킴으로써 플라즈마 처리 챔버(10) 내의 플라즈마에 대한 RF 파워의 전달을 향상시키는 역할을 한다. 매칭 네트워크 형태(예컨대, L형, π 형, T형 등)와 자동 제어 방법이 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0052] 도 6을 계속 참조해 보면, 플라즈마 처리 시스템(1a)은, 기관(25)에 대향해 있는 상부 전극(52)에 연결된 직류(DC) 전원(50)을 선택적으로 포함할 수 있다. 상부 전극(52)은 전극판을 포함할 수 있다. 전극판은 실리콘-함유 전극판을 포함할 수 있다. 또한, 전극판은 도핑된 실리콘 전극판을 포함할 수 있다. DC 전원은 가변 DC 전원을 포함할 수 있다. 추가적으로, DC 전원은 바이폴라 DC 전원을 포함할 수 있다. DC 전원(50)은 DC 전원(50)의 극성, 전류, 전압, 또는 온/오프 상태에 대한 모니터링, 조정, 또는 제어 중 적어도 하나를 행하도록 구성된 시스템을 더 포함할 수 있다. 일단 플라즈마가 형성되면, DC 전원(50)은 탄도 전자빔의 형성을 가능하게 한다. RF 파워를 DC 전원(50)으로부터 분리시키는 데에 전기 필터가 이용될 수 있다.

[0053] 예를 들어, DC 전원(50)에 의해 상부 전극(52)에 인가된 DC 전압은, 약 -2,000 V 내지 약 1,000 V의 범위일 수 있다. 바람직하게는, DC 전압의 절대값이 약 100 V 이상의 값을 갖고, 더 바람직하게는, DC 전압의 절대값이 약 500 V 이상의 값을 갖는다. 추가적으로, DC 전압은 음극성을 갖는 것이 바람직하다. 또한, DC 전압은 상부 전극(52)의 표면에 발생된 자기(自己) 바이어스 전압보다 큰 절대값을 갖는 음의 전압인 것이 바람직하다. 기관 홀더(20)에 면해 있는 상부 전극(52)의 면은 실리콘-함유 재료로 구성될 수 있다.

[0054] 진공 펌핑 시스템(30)은, 펌핑 속도를 초당 5,000 리터(또는 그 이상)까지 올릴 수 있는 터보 분자 진공 펌프(TMP)와, 챔버 압력을 조절하기 위한 게이트 밸브를 포함할 수 있다. 건식 플라즈마 에칭에 사용되는 종래의 플라즈마 처리 장치에는, 초당 1,000 리터 내지 3,000 리터의 TMP가 채용될 수 있다. TMP는 저압 처리, 통상적으로는 50 mTorr 미만의 저압 처리에 사용될 수 있다. 고압(즉, 100 mTorr 초과) 처리의 경우, 기계식 부스터 펌프 및 건식 러핑 펌프가 사용될 수 있다. 또한, 챔버 압력을 모니터링하기 위한 장치(도시 생략)가 플라즈마 처리 챔버(10)에 연결될 수 있다. 압력 측정 장치는, 예컨대 MKS Instruments, Inc.(매사추세츠주 앤도버 소재)에서 시판하고 있는 Type 628B Baratron 절대 커패시턴스 압력계일 수 있다.

[0055] 도 6을 계속 참조해 보면, 플라즈마 처리 시스템(1a)은 제어기(90)를 더 포함할 수 있는데, 이 제어기는 마이크로프로세서와, 메모리, 그리고 플라즈마 처리 시스템(1a)에 대한 입력을 통신 및 기동할 뿐만 아니라 플라즈마 처리 시스템(1a)으로부터의 출력을 모니터링하기에 충분한 제어 전압을 발생시킬 수 있는 디지털 I/O 포트를 포함한다. 또한, 제어기(90)는 RF 발생기(40), 임피던스 매칭 네트워크(42), 선택적 DC 전원(50), 가스 주입 시스템(도시 생략), 진공 펌핑 시스템(30) 뿐만 아니라 이면 가스 이송 시스템(도시 생략), 기관/기관 홀더 온도 제어 시스템(도시 생략), 및/또는 정전 클램핑 시스템(도시 생략)에 연결될 수 있고, 이들 구성 요소와 정보를 교환할 수 있다. 박막을 에칭하는 방법을 수행하기 위해, 프로세스 레시피에 따라 전술한 플라즈마 처리 시스템(1a)의 구성 요소들에 대한 입력을 기동하는 데에, 메모리에 기억된 프로그램이 이용될 수 있다. 제어기(90)의 일례로는 텍사스주 오스틴 소재의 Dell Corporation에서 시판하고 있는 DELL PRECISION WORKSTATION 610™이 있다.

[0056] 제어기(90)는 플라즈마 처리 시스템(1a)에 대해 근거리에서 위치할 수 있고, 또는 인터넷이나 인트라넷을 통하여

플라즈마 처리 시스템(1a)에 대해 원거리에 위치할 수 있다. 따라서, 제어기(90)는 직접 접속, 인트라넷, 또는 인터넷 중 적어도 하나를 이용하여 플라즈마 처리 시스템(1a)과 데이터를 교환할 수 있다. 제어기(90)는, 고객 사이트(즉, 디바이스 생산 회사 등)에 있는 인트라넷에 연결될 수 있고, 또는 판매자 사이트(즉, 장비 제조자)에 있는 인트라넷에 연결될 수 있다. 또한, 다른 컴퓨터(즉, 제어기, 서버 등)가, 직접 접속, 인트라넷, 또는 인터넷 중 적어도 하나를 통하여 데이터를 교환하도록 제어기(90)에 액세스할 수 있다.

[0057] 도 7에 도시된 실시형태에서, 플라즈마 처리 시스템(1b)은 도 6의 실시형태와 유사할 수 있고, 플라즈마 밀도를 증대시키고 및/또는 플라즈마 처리의 균일성을 향상시키는 가능성을 갖기 위해, 고정식 자기장 시스템(60) 또는 기계적으로 혹은 전기적으로 회전하는 자기장 시스템(60)을 더 포함할 수 있다. 또한, 제어기(90)는 회전 속도와 자기장 강도를 조절하기 위해 자기장 시스템(60)에 연결될 수 있다. 회전 자기장의 디자인 및 구현은 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0058] 도 8에 도시된 실시형태에서, 플라즈마 처리 시스템(1c)은 도 6 또는 도 7의 실시형태와 유사할 수 있고, RF 파워를 선택적 임피던스 매칭 네트워크(72)를 통해 상부 전극(52)에 연결하도록 구성되어 있는 RF 발생기(70)를 더 포함할 수 있다. 통상적인 상부 전극(52)에 대한 RF 파워 인가용 주파수는 약 0.1 MHz 내지 약 200 MHz의 범위일 수 있다. 추가적으로, 통상적인 기관 홀더(20)(또는 하부 전극)에 대한 파워 인가용 주파수는 약 0.1 MHz 내지 약 100 MHz의 범위일 수 있다. 예를 들어, 상부 전극(52)에 연결된 RF 주파수는, 기관 홀더(20)에 연결된 RF 주파수보다 상대적으로 높을 수 있다. 또한, RF 발생기(70)로부터 상부 전극(52)으로의 RF 파워가 진폭 변조될 수 있거나, 또는 RF 발생기(40)로부터 기관 홀더(20)로의 RF 파워가 진폭 변조될 수 있거나, 또는 상기한 두 RF 파워 모두가 진폭 변조될 수 있다. 바람직하게는, 더 높은 RF 주파수에 있어서의 RF 파워가 진폭 변조된다. 또한, 제어기(90)는 상부 전극(70)에 대한 RF 파워의 인가를 제어하기 위해 RF 발생기(70) 및 임피던스 매칭 네트워크(72)에 연결되어 있다. 상부 전극의 디자인 및 구현은 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0059] 도 8을 계속 참조해 보면, 선택적 DC 전원(50)은, 상부 전극(52)에 직접 연결될 수 있거나, 또는 임피던스 매칭 네트워크(72)의 출력단으로부터 상부 전극(52)으로 연장되는 RF 전송 라인에 연결될 수 있다. RF 파워를 DC 전원(50)으로부터 분리시키는 데에 전기 필터가 이용될 수 있다.

[0060] 도 9에 도시된 실시형태에서, 플라즈마 처리 시스템(1d)은, 예를 들어 도 6, 도 7 및 도 8의 실시형태와 유사할 수 있고, 유도 코일(80)을 더 포함할 수 있으며, 이 유도 코일에는 RF 파워가 RF 발생기(82)를 거쳐 선택적 임피던스 매칭 네트워크(84)를 통해 연결된다. RF 파워는 유도 코일(80)로부터 유전체창(도시 생략)을 통해 플라즈마 처리 영역(15)에 유도 결합된다. 통상적인 유도 코일(80)에 대한 RF 파워 인가용 주파수는 약 10 MHz 내지 약 100 MHz의 범위일 수 있다. 마찬가지로, 통상적인 기관 홀더(20)(또는 하부 전극)에 대한 파워 인가용 주파수는 약 0.1 MHz 내지 약 100 MHz의 범위일 수 있다. 또한, 슬롯이 형성된 패러데이 실드(도시 생략)가, 유도 코일(80)과 플라즈마 간의 유도 결합을 감소시키기 위해 채용될 수 있다. 또한, 제어기(90)는 유도 코일(80)에 대한 파워의 인가를 제어하기 위해 RF 발생기(82) 및 임피던스 매칭 네트워크(84)에 연결되어 있다. 변형예에서는, 유도 코일(80)은, 변압기 결합 플라즈마(TCP) 반응기에서와 같이, 위에서부터 플라즈마 처리 영역(15)과 통해 있는 "나선형" 코일 또는 "팬케이크형" 코일일 수 있다. 유도 결합 플라즈마(ICP) 소스, 또는 변압기 결합 플라즈마(TCP) 소스의 디자인 및 구현은 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0061] 별법으로서, 전자 사이클로트론 공명(ECR)을 이용하여 플라즈마가 형성될 수 있다. 또 다른 실시형태에서는, 헬리콘파의 개시를 통해 플라즈마가 형성된다. 또 다른 실시형태에서는, 도 4에 언급된 바와 같이, 전파형 표면파를 통해 플라즈마가 형성된다. 전술한 플라즈마 소스 각각은 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0062] 도 10에 도시된 실시형태에서, 플라즈마 처리 시스템(1e)은 예를 들어 도 8 및 도 9의 실시형태와 유사할 수 있고, RF 파워를 다른 선택적 임피던스 매칭 네트워크(46)를 통해 기관 홀더(20)에 연결하도록 구성되어 있는 제2 RF 발생기(44)를 더 포함할 수 있다. 제1 RF 발생기(40) 또는 제2 RF 발생기(44) 또는 양자 모두의 경우, 통상적인 기관 홀더(20)에 대한 RF 파워 인가용 주파수가 약 0.1 MHz 내지 약 200 MHz의 범위일 수 있다. 제2 RF 발생기(44)의 경우의 RF 주파수는 제1 RF 발생기(40)의 경우의 RF 주파수보다 상대적으로 클 수 있다. 또한, RF 발생기(40)로부터 기관 홀더(20)로의 RF 파워가 진폭 변조될 수 있거나, 또는 RF 발생기(44)로부터 기관 홀더(20)로의 RF 파워가 진폭 변조될 수 있거나, 또는 상기한 두 RF 파워 모두가 진폭 변조될 수 있다. 바람직하게는, 더 높은 RF 주파수에 있어서의 RF 파워가 진폭 변조된다. 또한, 제어기(90)는, 기관 홀더(20)에 대한 RF 파워의 인가를 제어하기 위해, 제2 RF 발생기(44) 및 임피던스 매칭 네트워크(46)에 연결되어 있다. 기관 홀더용 RF 시스템의 디자인 및 구현은 당업자에게 잘 알려져 있다.

[0063] 상기 발명의 배경이 되는 기술에 언급한 바와 같이, Cu 에칭 챔버의 세척 방법이 필요하다. 일 실시형태에 따

르면, 챔버 부품으로부터 Cu를 제거하기 위한 에칭 케미스트리; 건식 세척 주파수는 제조 요건에 따라 웨이퍼마다 또는 다수의 웨이퍼마다 달라질 수 있다. 본원에 거론된 것 이외에도, 한 가지 유망한 Cu 이방성 플라즈마 에칭 프로세스는 H₂-베이스 플라즈마 RIE이다. 그 정확한 에칭 메커니즘은 아직 과학적으로 결론 내어지지 않았다. 그러나, 한 가지 타당한 메커니즘은 "Cu-표면 H-손상후 플라즈마 원자외선 광자 유도 (및/또는 전자 자극) Cu 탈착"이다. 메커니즘에 관계 없이, 탈착된 Cu의 대부분은 모든 챔버 부품의 표면에 고착된다. 다수의 웨이퍼를 에칭한 후에, 챔버 조건이 심하게 변경될 것이다. 따라서, 챔버 안정성이 악화될 것으로 예상되고, 에칭 결과는 표류할 것으로 예상된다. 본 발명의 실시형태는, 각각의 웨이퍼 이후에 또는 다수의 웨이퍼 이후에, 챔버 부품의 표면 상의 Cu 증착물을 제거하여, 적절한 시즈닝 조건을 복원하는, 건식 세척 방법을 제공한다.

[0064] 도 11은 본 발명의 실시형태에 따라 챔버 내부를 세척하도록 Cu-함유 층을 에칭하는 방법을 보여주는 흐름도를 제공한다. 도시된 바와 같이, 단계 1102에서는, 내부면 상에 Cu-함유 층을 갖는 플라즈마 처리 챔버가 제공된다. 플라즈마 처리 챔버는 플라즈마 소스 및 기관 홀더를 구비한다. 단계 1104에서는, 내부면 상의 Cu-함유 층에 Cu-함유 화합물을 형성하도록, 반응 가스가 플라즈마 처리 챔버 내로 도입된다. 반응 가스는 O₂ 가스일 수 있다. 단계 1106에서는, 환원 가스가 플라즈마 처리 챔버 내로 도입된다. DC, RF, 또는 마이크로파 파워 중의 적어도 하나를 플라즈마 소스에 인가함으로써, 플라즈마가 플라즈마 처리 챔버 내에 제공된다. 앞서 언급한 바와 같이, 환원 가스는, Cu-화합물과의 환원 반응을 제공하고, 챔버로부터 제거되는 휘발성 Cu-함유 화합물을 생성한다. 환원 가스는 전술한 CH₃COOH 등과 같은 유기 화합물일 수 있다. 일 실시형태에서는, 내부 챔버 벽 상의 Cu-함유 증착물을 등방성 에칭하기 위해, 바이어스가 기관 홀더 상에 제공되지 않는다.

[0065] 전술한 에칭 프로세스 중 하나 이상은 도 5~도 10에 기술된 것과 같은 플라즈마 처리 시스템을 이용하여 수행될 수 있다. 그러나, 이러한 예시적인 제시에 의해, 앞서 거론한 방법의 범위가 제한되지는 않는다.

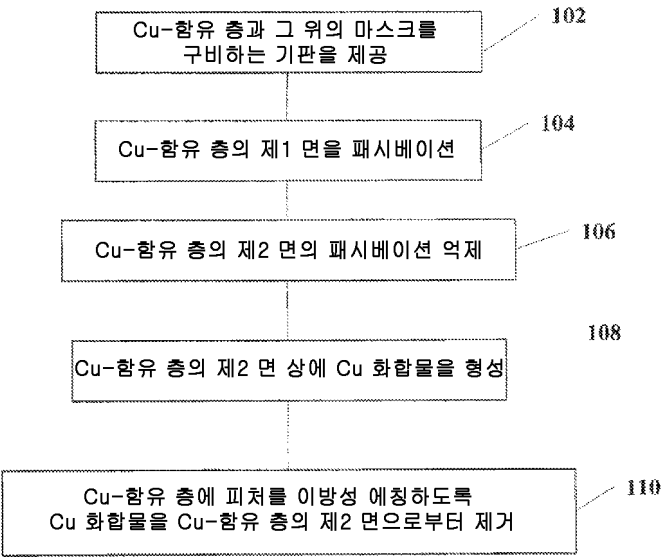
[0066] 도 5~도 10에 도시된 바와 같이, 유기 화합물 가스가 유기 화합물 가스 공급 유닛으로부터 타겟 챔버 내로 공급된다. 여기서, 유기산으로서의 아세트산이 유기 화합물의 예로서 사용된다. 도 12는 본 발명의 실시형태들에 따라 사용될 수 있는 유기 화합물 공급 유닛의 예를 보여주는 도면이다. 도시된 바와 같이, 유기 화합물 가스 공급 유닛(30)은 유기 화합물을 저장하기 위한 중간 용기(36) 및 탱크(37)를 포함하고, 밸브(37a)가 중간 용기(36) 및 탱크(37)를 연결하기 위한 라인(36a)에 배치된다. 유기 화합물은 중간 용기(36)로부터 라인(32)을 통해 타겟 챔버에 공급되고, 라인(32)에는 가변 리크 밸브(38)가 마련된다. 중간 용기(36) 내의 유기 화합물의 양이 측정되도록, 중간 용기(36)에는 유기 화합물의 양을 검출하기 위한 센서, 예를 들어 액체 표면 센서(39)가 구비된다. 액체 표면 센서(39)에 의해 액체 표면의 하강이 검출될 때, 중간 용기(36)는 가변 리크 밸브(38)에 의해 진공으로부터 분리되고, 밸브(37a)를 개방함으로써 유기 화합물이 탱크(37)로부터 중간 용기에 공급된다.

[0067] 저장조(37) 내의 유기 화합물(아세트산)은 증발되고, 증발된 유기 화합물은 타겟 챔버에 공급된다. 이때, 유기 화합물(아세트산)의 증발량은, 유량 제어 밸브(38)의 개방도를 제어함으로써 제어된다. 충분한 유기 화합물 분자가 기관(S) 상에 형성된 Cu막의 표면에 흡착되는 것을 허용하는 레벨로, 유기 화합물 가스의 공급량이 설정된다. 타겟 챔버(3)의 압력(아세트산의 분압)은 약 10⁻⁴ Torr 내지 10⁻⁶ Torr인 것이 바람직하다. 압력 게이지(34)는 예를 들어, 이온 게이지 또는 커패시턴스 압력계일 수 있다.

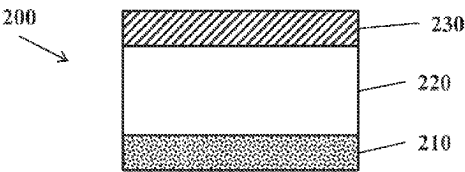
[0068] 전술한 실시형태와 마찬가지로, 환원 가스는 CH₃COOH 등과 같은 산을 포함하고, 반응 가스는 O₂를 포함한다. He, Ne, Ar, Kr 및 Xe 등과 같은 불활성 가스가 또한 사용될 수 있다. 또한, 반응 가스 및 환원 가스는, 일단계 프로세스에서는 동시에 플라즈마 처리 챔버에 도입될 수 있고, 또는 다단계 프로세스에서는 순차적으로 플라즈마 처리 챔버에 도입될 수 있다.

도면

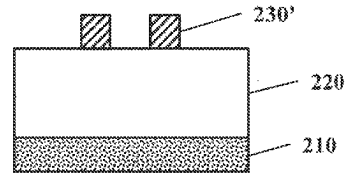
도면1



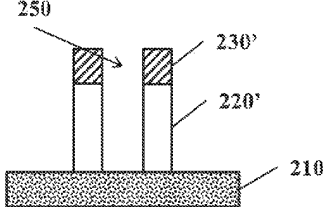
도면2a



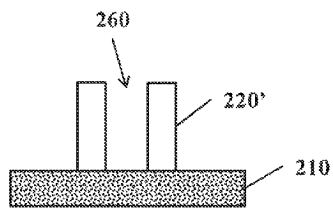
도면2b



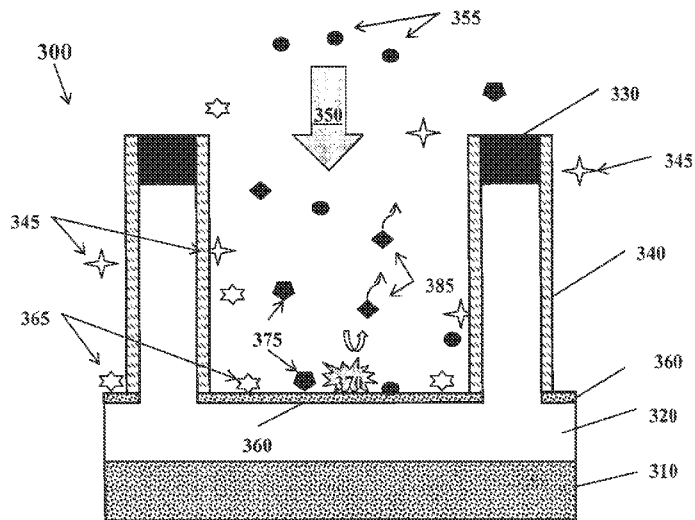
도면2c



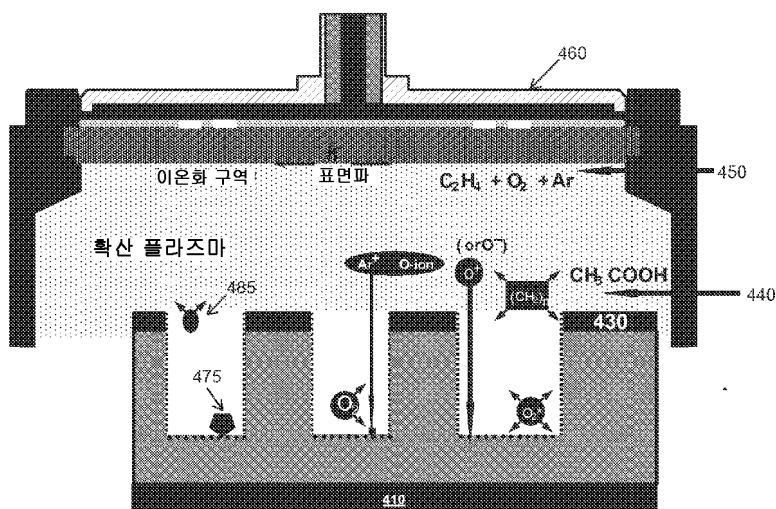
도면2d



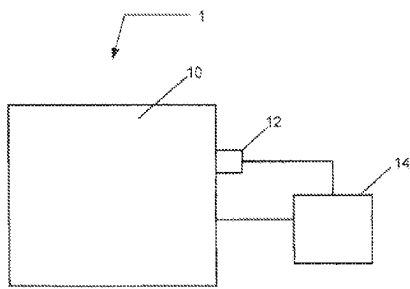
도면3



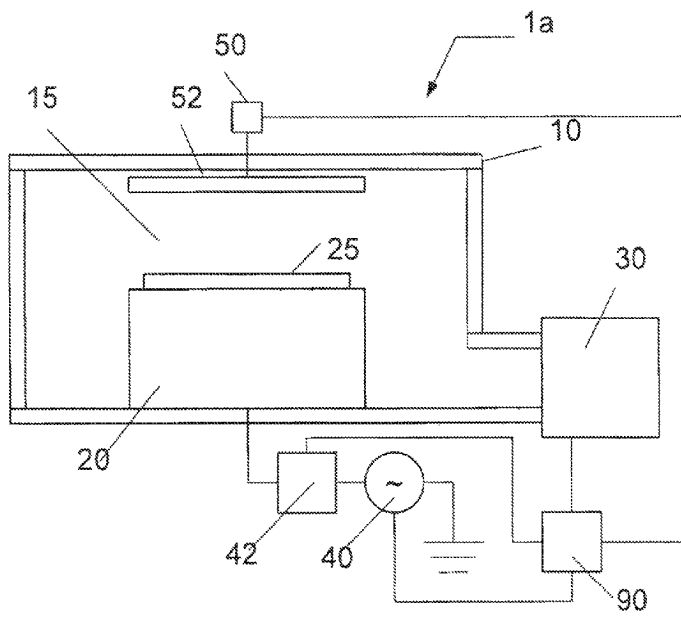
도면4



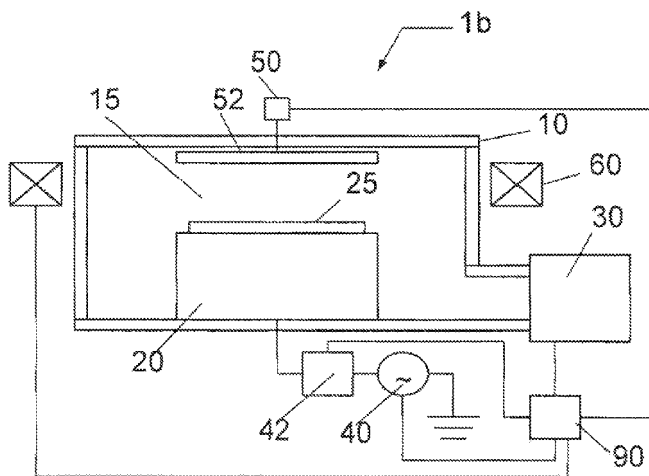
도면5



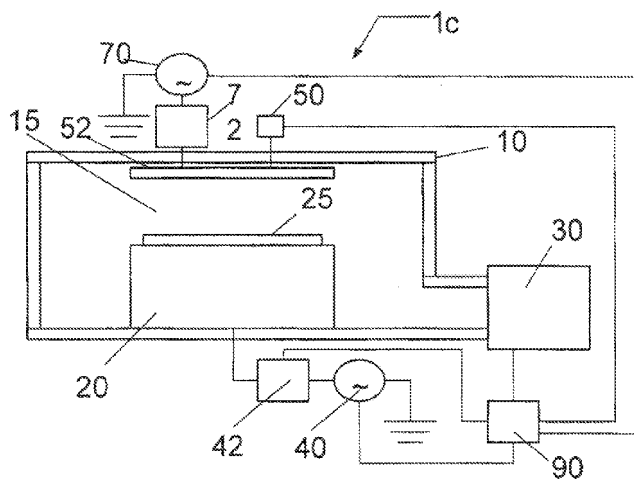
도면6



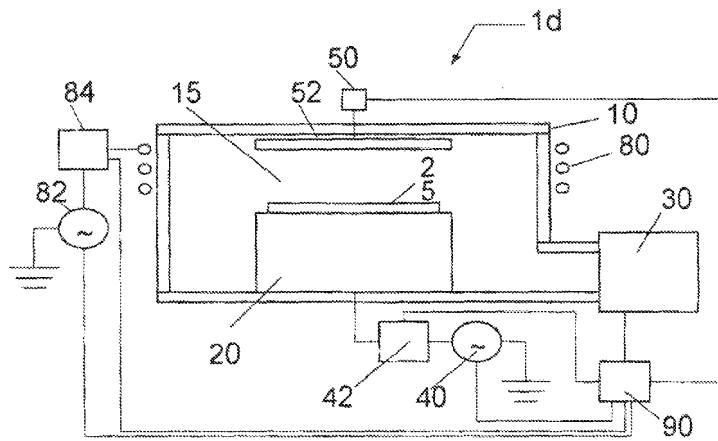
도면7



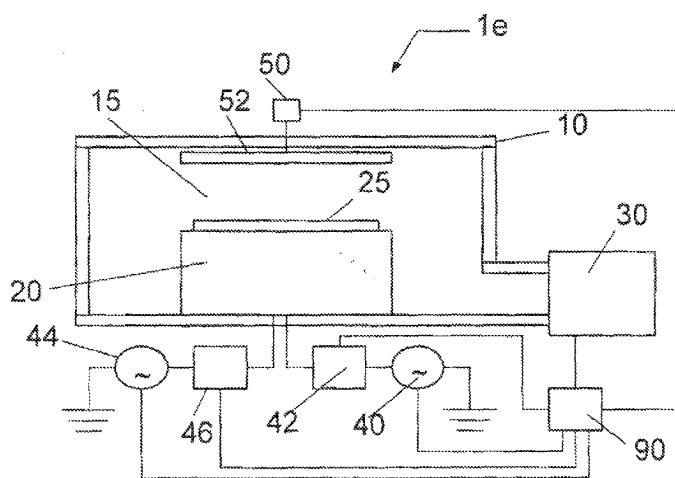
도면8



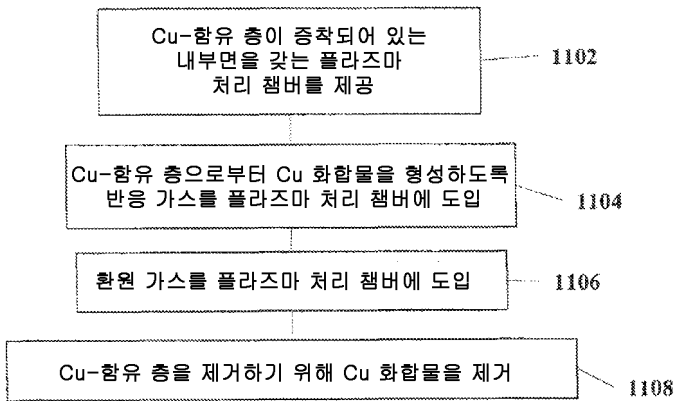
도면9



도면10



도면11



도면12

