

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>  
H01L 21/304  
C25F 3/30

(11) 공개번호 10-2005-0092364  
(43) 공개일자 2005년09월21일

(21) 출원번호 10-2005-7008421

(22) 출원일자 2005년05월11일

번역문 제출일자 2005년05월11일

(86) 국제출원번호 PCT/GB2003/004809

(87) 국제공개번호 WO 2004/044273

국제출원일자 2003년11월06일

국제공개일자 2004년05월27일

(30) 우선권주장 10/391,924 2003년03월18일 미국(US)  
60/425,694 2002년11월12일 미국(US)

(71) 출원인 에이에스엠 누틀, 인코포레이티드  
미합중국 캘리포니아 94538-6400 프레몬트 더블유 워렌 애비뉴 3501

(72) 발명자 탈리에 호메이윤  
미국 캘리포니아 95138 산 호세 벤틀리 럽지 드라이브 2211  
바솔 브랜드 엠  
미국 캘리포니아 90266 맨해튼 비치 메이플 애비뉴 3001

(74) 대리인 특허법인 신성

심사청구 : 없음

(54) 전해연마 시스템 및 프로세스

요약

본 발명은 반도체 웨이퍼의 도전성 표면을 전해연마하기 위한 프로세스를 제공한다. 처리 중에, 접촉 용액 내의 접촉 전극은 도전층의 표면 상의 접촉 영역을 접촉 용액과 접촉시킨다. 또한, 처리 중에, 처리 용액 내의 처리 전극은 도전성 표면 상의 처리 영역을 처리 용액과 접촉시키는 한편, 처리 영역의 도전층의 표면을 전해연마하기 위해서, 접촉 전극과 처리 전극 사이에 전위차를 인가한다.

대표도

도 4a

색인어

전해연마, 전기에칭, 전기도금, 접촉 전극, 처리 전극, 홀더 구조, 도전층, 워크피스, 반도체 웨이퍼

명세서

기술분야

본 발명은 일반적으로 반도체 집적 회로 기술에 관한 것으로, 특히 전기에칭(electroetching) 또는 전해연마 프로세스 및 장치에 관한 것이다.

## 배경기술

종래의 반도체 디바이스는 일반적으로 반도체 기판(보통, 실리콘 기판), 실리콘 이산화물과 같은 순차적으로 형성된 복수의 유전층, 및 도전성 재료로 이루어지는 상호접속(interconnects) 또는 도전성 경로를 포함한다. 상호접속은 일반적으로 유전층에 에칭된 트렌치 내에 도전성 재료를 충전함으로써 형성된다. 집적 회로에 있어서, 다중 레벨의 상호접속 회로망이 기판 표면에 대하여 측방향으로 연장된다. 상이한 층에 형성된 상호접속은 비아(via) 또는 접착을 이용하여 전기적으로 접속될 수 있다.

비아, 트렌치, 패드 또는 접착과 같은 피처 내의 도전성 재료의 충전은 전착(electrodeposition)에 의해 실행될 수 있다. 전착 또는 전기도금 방법에 있어서, 구리와 같은 도전성 재료는 이러한 피처를 포함하여 기판 표면의 전체에 걸쳐 퇴적된다(deposit). 그런 다음, 피처 또는 공동 내에만 도전체를 남기면서, 상부 표면으로부터 과잉 금속을 제거하고 평탄화하기 위해서, 재료 제거 기술이 채택된다. 이를 위해 가장 일반적으로 이용되는 표준 재료 제거 기술은 화학 기계적 연마(Chemical Mechanical Polishing)(CMP)이다. 전기에칭 또는 전기화학 에칭으로도 언급되는 화학 에칭 및 전해연마는 또한 본 출원을 위해 평가되고 있는 두드러진 프로세스 옵션이다. 이 때, 구리는 낮은 저항률(resistivity) 및 양호한 전자이송(electromigration) 특성 때문에 상호접속 적용을 위해 선택되는 재료이다. 그러므로, Pt, Co, Ni 등과 같은 여타의 재료의 전해연마가 또한 본 발명의 방법 및 장치를 이용하여 달성될 수 있음에도 불구하고, 본 발명은 예로서 구리 및 구리 합금층의 전해연마에 대해 설명한다.

표준 전기도금 기술은 몇 마이크로미터보다 큰 폭을 갖는 피처와 같은 큰 피처 상에 등각으로 퇴적되는 구리층을 산출한다. 이는 평탄하지 않은 도금된 웨이퍼 표면 토포그래피(topography)를 야기한다. 도1a는 표준 전기도금 기술을 이용하여 도전체(106)로 코팅된 대표적인 트렌치(104) 및 대표적인 비아(102)를 갖는 워크피스(workpiece) 표면(100)을 도시한다. 도1a로부터 알 수 있는 바와 같이, 도전체(106)의 표면이 작은 비아(102) 상에서는 평탄할 수 있음에도 불구하고, 보다 큰 트렌치(104) 상에서의 도전체(106)의 표면은 단차(S)를 갖는다. CMP, 에칭 또는 전기에칭을 채택하는 과잉 도전체 또는 과잉적재(overburden)의 제거 프로세스 단계 중에, 이 비-평탄 표면 토포그래피는, 단지 피처 내에만 도전체를 남기면서, 표면으로부터 과잉 도전체가 제거되는 것과 같이 평탄화될 필요가 있다. 평탄화가 달성되지 않은 경우, 도전체의 두께가 감소됨에 따라, 단차(S)의 존재는 큰 트렌치 내에서의 도전체의 손실을 야기한다. 점선(110 및 112)은, 각각 표면 상의 과잉 도전체의 두께가 "t"로부터 거의 제로까지 감소됨에 따라, 트렌치로부터의 도전체 손실이 양("d")으로부터 보다 큰 양("D")으로 어떻게 증가될 수 있는지를 개략적으로 도시한다. 인식될 수 있는 바와 같이, 피처 내에서의 이러한 도전체 손실은 허용가능하지 않다.

CMP 기술은 과잉 도전층을 제거하는 동시에 평탄화하기 위한 능력을 제공하도록 발전되었다. 이는 도1b에서 점선(120, 122)으로 도시되어 있다. 과잉 도전체의 제거 이후에, 그 결과로서 생기는 표면은 점선(122)에 의해 표시된 바와 같이 이상적으로 평탄하고, 비아(102) 및 트렌치(104)의 양쪽 모두는 도전체로 완전히 충전된다. 피처(102 및 104) 내의 도전체들 사이의 전기적 절연을 보장하기 위해서, (장벽층과 같은) 소정의 다른 도전층과 함께 과잉 도전층의 소정의 나머지 부분이 모두 제거된다는 것이 주목되어야 한다.

표준 전기에칭 기술의 평탄화 능력은 CMP만큼 양호하지는 않다. 그러므로, 이들 프로세스의 결과는 도1a 및 도1b에 도시된 경우들 사이의 어딘가에 있을 수도 있다. 전기에칭의 평탄화 능력은 증가될 수도 있고, 워크피스 표면으로부터 도전체의 제거가 실행됨에 따라 웨이퍼 표면 상에 기계적 작용을 도입하는 워크피스 표면 작용 디바이스(Workpiece Surface Influencing Device)(WSID) 또는 평탄화 패드를 채택함으로써, 도1b에서 점선(122)으로 도시된 이상적인 결과에 근접할 수도 있다. 이 방식으로, 과잉 구리가 제거됨에 따라, 비-평면 또는 비-평탄인 구리 표면을 평탄화하는 것이 가능할 수도 있다. 이러한 프로세스에서 기계적 작용이 있기 때문에, 이들은 전기화학 기계적 에칭(ElectroChemical Mechanical Etching)(ECME) 또는 전기화학 기계적 연마로 언급된다. 명칭 제안과 같이, 이러한 방법에 있어서, 웨이퍼 표면이 평탄화 패드에 의해 접촉되고, 웨이퍼 표면과 평탄화 패드 사이에 상대 운동(relative motion)이 확립됨에 따라, 전기에칭이 실행된다.

전술된 바와 같이, 표준 전기도금 기술은 과잉 재료의 제거 단계 중에 평탄화될 필요가 있는 비-평면 워크피스 표면 및 등각(conformal) 퇴적물(deposits)을 산출한다. 집합적으로 전기화학 기계적 퇴적(ElectroChemical Mechanical Deposition)(ECMD) 방법으로 지칭되는 신규로 개발된 전착 기술은, 도전체 퇴적 중에 웨이퍼 표면에 아주 근접하여 패드 또는 WSID를 사용한다. 도금 중에 WSID의 작용은 심지어 워크피스 표면 상에 존재하는 가장 큰 피처 상에서도 평탄한 표

면 토포그래피를 갖는 평면 퇴적물을 제공한다. 이러한 평면 퇴적물은 도1c에서 층(130)으로 도시되어 있다. 이러한 평면 퇴적물로부터 구리와 같은 과잉 도전성 재료의 제거는 재료의 제거 단계 중에 추가적인 평탄화를 필요로 하지 않는다. 그러므로, 이 경우에 평면이고 균일한 방식으로 과잉적재를 제거하기 위해서, CMP, 전기에칭, 화학 에칭, 전기화학 기계적 에칭 및 화학 기계적 에칭 기술이 모두 성공적으로 채택될 수도 있다.

패드 또는 WSID에 의해 제공된 기계적 작용의 보조로 전기에칭 프로세스가 실행되는 것을 설명하는 다수의 특허 및 특허출원이 있다. 이러한 프로세스의 상세는 다음의 특허 및 특허출원에 개시되어 있고, 이들은 모두 본 발명의 양수인에 의해 모두 공동으로 소유되어 있다: 미국특허 제6,402,925호; 2002년 9월 20일 출원되고, 명칭이 "Method and apparatus for electroplating and electropolishing"인 미국특허출원 제10/238,665호; 2000년 9월 28일 출원되고, 명칭이 "Method to minimize/eliminate metal coating over the top surface of a patterned substrate and layer structure made thereby"인 미국특허출원 제09/671,800호; 2001년 4월 23일 출원되고, 명칭이 "Electroetching system and method"인 미국특허출원 제09/841,622호; 2002년 7월 22일 출원되고, 명칭이 "Multi-step electrodeposition process"인 미국특허출원 제10/201,604호; 2002년 3월 6일 출원되고, 명칭이 "Method and Apparatus for Planar Material Removal technique using multi phase process environment"인 미국 가출원 제60/362,513호; 2002년 9월 20일 출원되고, 명칭이 "Method and apparatus for electroplating and electropolishing"인 미국특허출원 제10/238,665호.

표준 전착 및 전기에칭 프로세스 중에, 워크피스 또는 웨이퍼는 통상적으로 그 에지 근처, 그 원주의 모든 주위에서 그 전면 상에 접촉되어 있다. 웨이퍼와 접촉하는 종래의 방식은 스프링-부하 금속 핑거(spring-loaded metallic fingers)와 같은 전기적 접촉이 웨이퍼의 경계를 따라 표면의 에지에 대하여 프레스되는 클램프-링 설계를 포함한다. 접촉은 에지에서 웨이퍼 표면에 대하여 푸시되는 O-링 또는 립 실링(lip seals)과 같은 실링을 사용하여 처리 용액으로부터 보호된다. 그러나, 웨이퍼 처리에서 낮은-k 재료 이용의 증가는 이러한 접촉의 이용에 대한 새로운 제약을 초래하고 있다. 낮은-k 재료 상에 퇴적된 도전성 막에 대하여 금속 접촉 및 실링을 프레스하는 것은 이러한 재료에 대한 손상을 야기하고, 심지어 전기적 접촉의 손실을 야기할 수도 있는데, 이는 손상된 낮은-k 층이 불연속이 될 수도 있기 때문이다. 이러한 도전을 해결하기 위해서, 웨이퍼 에지에 대한 전기적 접촉을 형성하기 위한 신규 방법이 미국특허 제6,471,847호 및 제6,251,235호에 개시되었고, 이들은 본 발명의 양수인에 의해 공동으로 소유되어 있다. 이 방법에 있어서, 웨이퍼와 접촉하는 금속성 접촉이 없다. 전기적 접촉은 액상 도전체를 사용하여 달성되고, 이는 챔버 내에 제한된다.

전기화학 기계적 에칭 및 전기화학 기계적 퇴적 기술에 관한 전술된 기술의 재검토는, 클램프-링 설계와 함께 전기적 접촉을 이용하는 장치에서 클램프-링 아래에 있는 에지 표면 영역과 같이 처리 용액으로부터 보호된 "접촉 영역" 옆에 설정될 필요없이, 이들 방법이 웨이퍼의 전체 표면을 전기처리(electrotreat), 즉 전착뿐만 아니라 전해연마하기 위한 능력을 갖는다는 것을 나타낸다.

전체-표면(full-face) 전착 또는 전기에칭을 허용하는 접촉 설계는 다음의 미국특허출원에 개시되었고, 이들 모두는 본 발명의 양수인에 의해 공동으로 소유되어 있다: 2000년 10월 11일 출원되고, 명칭이 "Making electrical contact to the surface of a workpiece during metal plating"인 미국특허출원 제09/685,934호; 2000년 12월 14일 출원되고, 명칭이 "Method of electrical contact to wafer frontal side for electrochemical plating"인 미국특허출원 제09/735,546호; 및 2001년 1월 17일 출원되고, 명칭이 "Method and apparatus for electrodeposition of uniform film on substrate"인 미국특허출원 제09/760,757호. 이들 출원에 개시된 바와 같이, 워크피스 표면에 대한 전기적 접촉을 생성하는 하나의 방법은, 와이어, 핑거, 스프링, 롤러, 브러시 등과 같은 도전성 접촉 소자에 의해 워크피스의 도전성 표면에 물리적으로 접촉하는 것, 및 웨이퍼 표면의 상이한 부분이 상이한 때에 물리적으로 또한 전기적으로 접촉되도록 접촉 소자와 웨이퍼 표면 사이에 상대 운동을 확립하는 것을 포함한다. 또다른 방법에 있어서, 워크피스 표면에 대한 전기적 접촉은 도전성 접촉 소자에 의해 웨이퍼에 물리적으로 접촉하지 않고 달성된다. 어느 한 쪽의 방식으로, 전기적 접촉은 실질적으로 웨이퍼의 모든 표면에 걸쳐 또는 웨이퍼의 에지 영역에만 생성될 수도 있다.

전해연마 중에 워크피스의 접촉 수단을 포함하는 전해연마 장치 및 방법에 있어서 많은 발전이 이루어졌음에도 불구하고, 특히 낮은-k 재료를 갖는 고급 웨이퍼 상에 손상 및 결함을 야기시키지 않고 워크피스 표면으로부터 과잉 도전성 막을 균일하게 제거하는 대안적인 접촉 수단 및 전기에칭 기술에 대한 필요성이 여전히 존재한다.

### 발명의 상세한 설명

본 발명은 종래의 전해연마 방법의 확인된 제약을 극복하고, 워크피스 표면으로부터 도전성 막을 균일하게 제거하는 대안적인 접촉 수단 및 전기에칭 기술을 제공한다.

본 발명의 하나 또는 그 이상의 실시예에 있어서, 워크피스 상의 도전성층의 표면을 전해연마하기 위한 장치 및 방법이 개시되어 있다. 본 발명의 방법은: 접촉 용액 내에 접촉 전극을 잠입(immersion)시키는 단계; 접촉 영역을 한정하기 위해서, 도전층의 표면의 일부를 접촉 용액과 접촉시키는 단계; 처리 용액 내에 처리 전극을 잠입시키는 단계; 처리 영역을 한정하기 위해서, 도전층의 표면의 일부를 처리 용액과 접촉시키는 단계; 및 처리 영역의 도전층의 표면을 전해연마하기 위해서, 접촉 전극과 처리 전극 사이에 전위를 인가하는 단계를 포함한다.

본 발명의 또다른 양태에 따르면, 본 발명의 방법은, 접촉 영역 또는 처리 영역 중 적어도 하나를 도전층의 표면 상의 제1 위치로부터 제2 위치로 이동시키는 단계를 더 포함한다. 프로세스의 전체에 걸쳐, 영역들 중 적어도 하나를 제1 위치로부터 또다른 위치로 이동시키는데 있어서, 도전층의 전체 표면이 전해연마될 수 있다.

본 발명의 또다른 양태에 있어서, 접촉 용액 및 처리 용액은 동일한 도전성 용액이다. 도전성 용액은 도전층의 표면과 접촉한다.

본 발명의 또다른 양태에 따르면, 제2 접촉 전극이 더 제공되고, 본 발명의 방법은: 접촉 용액 내에 제2 접촉 전극을 잠입시키는 단계; 제2 접촉 영역을 한정하기 위해서, 도전층의 표면의 일부를 접촉 용액과 접촉시키는 단계; 및 제2 접촉 영역을 전해연마하기 위해서, 접촉 전극들과 처리 전극 사이에 전위를 인가하는 단계를 포함한다.

본 발명의 또다른 양태에 따르면, 본 발명의 방법은, 전해연마 중에 도전층의 표면의 비균일성을 평탄화하기 위해서, 도전층의 표면을 패드의 상부 표면과 접촉시키는 단계를 더 포함한다. 패드의 상부 표면은 연마재일 수도 있다. 패드는 도전층의 표면과 간헐적으로 접촉할 수도 있다.

본 발명의 또다른 실시예에 있어서, 워크피스 상의 도전층의 표면을 전해연마하기 위한 장치는: 접촉 용액, 접촉 용액 내에 잠입되는 접촉 전극을 포함하고, 접촉 영역을 한정하기 위해서, 접촉 용액이 도전층의 표면의 일부와 접촉하는 개구부를 갖는 접촉 유닛; 및 처리 용액, 처리 용액 내에 잠입되는 처리 전극을 포함하고, 처리 영역을 한정하기 위해서, 처리 용액이 도전층의 표면의 일부와 접촉하는 개구부를 가지며, 접촉 전극과 처리 전극 사이에 인가된 전위차에 응답하여, 처리 영역에 의해 한정된 도전층의 표면을 전해연마하도록 구성된 처리 유닛을 포함한다.

본 발명의 다른 양태에 따르면, 접촉 전극 및/또는 처리 전극은 도전층의 표면에 근접할 수도 있다. 전위차는 DC 전압 또는 가변 전압을 포함한다.

본 발명의 또다른 양태에 따르면, 실질적으로 워크피스 상의 도전층의 전체 표면을 전해연마하기 위해서, 메커니즘은 처리 영역과 도전층의 표면 사이에 상대 운동을 생성한다. 메커니즘은 또한 접촉 영역과 도전층의 표면 사이에 상대 운동을 생성할 수도 있다.

본 발명의 부가적인 양태에 따르면, 처리 유닛은, 복수의 처리 영역을 한정하기 위해서 처리 용액이 도전층의 표면의 부분들과 접촉하는 복수의 처리 개구부를 포함하고, 접촉 전극과 처리 전극 사이에 인가된 전위차는 복수의 처리 영역에 의해 한정된 도전층의 표면을 전해연마한다. 더욱이, 접촉 유닛은, 접촉 용액이 도전층의 표면의 부분들과 접촉하는 복수의 접촉 개구부를 포함하고, 각 접촉 개구부는 그 안에 배치된 접촉 전극을 포함하며, 접촉 전극들과 처리 전극 사이에 인가된 전위차는 복수의 처리 영역에 의해 한정된 도전층의 표면을 전해연마한다.

본 발명의 다른 양태에 있어서, 접촉 유닛들의 제1 세트는 도전층의 표면의 부분들과 접촉하도록 구성되고, 여기서 접촉 유닛들의 제1 세트의 접촉 전극들과 처리 전극 사이에 인가된 전위차는 처리 영역들의 제1 세트에 의해 한정된 도전층의 표면을 전해연마한다. 더욱이, 접촉 유닛들의 제2 세트는 도전층의 표면의 부분들과 접촉하도록 구성되고, 여기서 접촉 유닛들의 제2 세트의 접촉 전극들과 처리 전극 사이에 인가된 제2 전위차는 처리 영역들의 제2 세트에 의해 한정된 도전층의 표면을 전해연마한다.

본 발명의 또다른 양태에 있어서, 구역 스위치는, 전위차를 인가하기 위해서, 제1 접촉 구역 또는 제2 접촉 구역을 선택하도록 구성된다. 전위차 및 제2 전위차는 상이한 전압일 수도 있다.

본 발명의 전술된 이점 및 부가적인 이점은 첨부된 도면과 관련하여 취해진 다음의 상세한 설명의 판독으로부터 당업자에게 명백해질 것이다.

## 도면의 간단한 설명

도1a는 종래의 퇴적 프로세스를 이용하여 퇴적된 비-평면인 구리 과잉적재층을 갖는 기관의 개략적인 도면.

도1b는 도1a에 도시된 기관의 개략적인 도면으로, 여기서 비-평면 구리 과잉적재층에 평탄화 프로세스가 적용됨.

도1c는 전기화학 기계적 퇴적 프로세스를 이용하여 퇴적된 평면인 구리 과잉적재층을 갖는 기관의 개략적인 도면.

도2a는 구리층이 형성된 반도체 웨이퍼의 개략적인 부분 단면도.

도2b는 상세화된 반도체 웨이퍼의 개략적인 단면도.

도3a는 본 발명의 전해연마 시스템의 일실시예의 개략적인 도면.

도3b 내지 도3d는 처리 용액을 통해 웨이퍼 표면과 전기적 접촉을 확립하기 위한 접촉 유닛의 다양한 실시예의 개략적인 도면.

도3e 내지 도3h는 웨이퍼 표면과 전기적 접촉을 확립하고, 웨이퍼 표면을 처리하기 위한 처리 유닛 및 접촉 유닛의 다양한 설계의 개략적인 도면.

도4a는 다수의 접촉 전극 및 처리 전극을 포함하는 본 발명의 전해연마 시스템의 또다른 실시예의 개략적인 도면.

도4b는 도4a에 도시된 전해연마 시스템의 개략적인 평면도.

도5는 단일 처리 전극과 함께 다수의 접촉 전극을 사용하는 본 발명의 전해연마 시스템의 또다른 실시예의 개략적인 도면.

도6a 내지 도6b는 본 발명의 전해연마 시스템에서 사용되는 홀더 구조의 개략적인 도면.

도7a 내지 도7b는 본 발명의 전해연마 시스템에서 사용되는 또다른 홀더 구조의 개략적인 도면.

도8a 내지 도8b는 본 발명의 전해연마 시스템에서 사용되는 또다른 홀더 구조의 개략적인 도면.

도9a 내지 도9b는 본 발명의 전해연마 시스템에서 사용되는 또다른 홀더 구조의 개략적인 도면.

도10a 내지 도10b는 단일 처리 전극과 함께 다수의 접촉 전극을 사용하는 본 발명의 전해연마 시스템의 다른 실시예의 개략적인 도면.

도11a 내지 도11b는 도10a에 도시된 전해연마 시스템을 사용하는 전해연마 프로세스의 단계의 개략적인 도면.

## 실시예

이하 설명되는 바와 같이, 본 발명은 반도체의 표면 상에 퇴적된 도전성 재료층을 전기에칭 또는 전해연마하기 위한 방법 및 시스템을 제공한다. 본 발명은 전기화학 기계적 에칭 프로세스 또는 종래의 전기에칭 시스템과 함께 이용될 수 있다. 본 발명은 워크피스 표면에 대해 물리적 접촉을 하지 않는 전기적 접촉 소자 및 처리 용액의 사용의 결합을 통해 도전성 재료의 전기에칭을 달성한다.

이하 도면이 참조되는데, 여기서 동일한 도면부호는 전체에 걸쳐 동일한 부분을 나타낸다. 도2a는 워크피스(100a)의 부분 단면도이다. 워크피스는 전처리된 반도체 웨이퍼의 대표적인 부분일 수도 있다. 또한 도2b에 상세하게 도시된 바와 같이, 워크피스(100a)의 상부층(102a)은 전기도금된 구리와 같은 도전성 재료층을 포함할 수도 있다. 워크피스의 하부층(104a)은 낮은-k 유전체 막과 같은 절연층(106a) 및 웨이퍼, 바람직하게는 실리콘 기관(108)을 포함할 수도 있다. 이 실시예에 있어서, 도전층(102a)이 워크피스(100a)의 일부임에도 불구하고, 워크피스(100a)가 완전히 도전성 재료로 이루어질 수도 있다는 것은 본 발명의 범위 내에 있다.

절연층은 비아 피처(110) 및 트렌치 피처(112)를 제공하기 위해 패터닝된다. 절연층의 표면(114) 및 피처는 Ta, TaN, Ti, WCN, WN, TiN 또는 이들 재료의 합성물 층과 같은 장벽층(116)으로 윤곽이 그려질 수도 있다. 장벽층은 또한 명패합을 위해 도2b에는 도시되지 않은 구리 시드층(seed layer)과 같은 도전성 시드층으로 코팅될 수도 있다. 이러한 시드층은 일반적으로 도전층의 퇴적 전에 반도체 웨이퍼 상에 퇴적된다. 워크피스(100a)는 복수의 비아, 트렌치 및 다른 피처를 포함할 수도 있다. 도2b에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예를 예시하기 위해서, 도전층(102a)의 표면(103a)은 평면일 수도 있다, 즉 도전층(102a)의 퇴적 중에 형성된 높은 영역 및 낮은 영역을 갖는 표면 토포그래피를 갖지 않을 수도 있다. 본 발명이 비-평면인 웨이퍼 표면도 또한 처리할 수 있다는 것이 인식되어야 한다.

도3a는 웨이퍼에 대한 원격 전기적 접촉을 이용하여 웨이퍼 표면 상의 재료의 전해연마가 어떻게 달성될 수 있는지를 개략적으로 설명한다. 도3a에서의 단면 부분은 웨이퍼 캐리어(도시되지 않음)에 의해 유지되는 워크피스(100a)의 표면으로부터 떨어져서 구리층(102a)의 일부를 전기화학적으로 에칭하기 위한 대표적인 전기에칭 또는 전해연마 시스템(200)의 일부를 도시한다. 이 예에서의 전기에칭 시스템은 접촉 유닛(202) 및 처리 유닛(204)을 포함한다. 이하 보다 완전하게 설명되는 바와 같이, 접촉 유닛(202)은 액상 접촉 용액을 통해 도전층(102a)과 전기적 접촉을 확립할 수 있다.

이 점에 있어서, 접촉 유닛(202)은 접촉 용액(208)을 포함하기 위한 접촉 노즐 또는 접촉 컨테이너(206)를 포함한다. 접촉 전극(209)은 접촉 컨테이너(206)의 내부에 배치되고, 그에 따라 접촉 용액(208) 내에 잠입된다. 접촉 전극(209)은 구리층(102a)의 표면(103a)에 물리적으로 접촉하지 않는다. 접촉 전극(209)은 전원(210)의 양의 단자에 전기적으로 접속된다. 접촉 용액(208)은 접촉 주입구(212)를 통해 컨테이너를 충전하고, 접촉 개구부(214)를 통해 컨테이너를 떠난다. 주입구(212)는 접촉 용액 저장소(도시되지 않음)에 접속될 수도 있다. 접촉 개구부(214)는 도전층(102a)의 표면(103a)의 접촉 영역(220a)에 아주 근접하여 배치된다. 접촉 용액(208)이 개구부(214)를 통해 흐르기 때문에, 접촉 용액은 접촉 영역에 물리적으로 접촉하고, 접촉 용액이 도전성 액체이기 때문에 전극(209)과 접촉 영역(220a) 사이에 전기적 통신을 확립한다. 최저 전압 강하를 위해서, 접촉 전극(209)은 접촉 영역(220a)에 가능한 한 근접한다. 그러나, 접촉 용액(208)의 저항률이 낮고, 전압 강하가 관심사가 아닐 경우, 접촉 전극(209)은 심지어 접촉 컨테이너의 외부에 배치될 수도 있고, 접촉 전극이 접촉 용액(208)과 물리적 접촉을 유지하는 한 어디에나 배치될 수도 있다.

처리 유닛(204)은 전기에칭 또는 전해연마 용액인 처리 용액(224)을 포함하기 위한 처리 노즐 또는 처리 컨테이너(222)를 포함한다. 처리 전극(226)은 처리 컨테이너(222)의 내부에 위치되고, 처리 용액(224) 내에 잠입된 상태로 유지된다. 처리 전극이 처리 컨테이너 내에 제한되어서는 안된다는 것이 주목되어야 한다. 처리 전극이 처리 용액과 물리적으로 접촉하는 한 처리 전극은 외부에 있을 수도 있고, 그에 따라 처리 용액과 전기적 접촉을 확립한다. 처리 전극(226)은 전원(210)의 음의 단자에 전기적으로 접속된다. 처리 용액(224)은 처리 주입구(228)를 통해 처리 컨테이너를 충전하고, 처리 개구부(230)를 통해 컨테이너를 나간다. 처리 용액(224)은 재순환되거나 교반(agitation)될 수 있다. 주입구(228)는 처리 용액 저장소(도시되지 않음)에 접속될 수도 있다. 처리 개구부(230)는 도전층(102a)의 표면(103a)의 처리 영역(220b)에 아주 근접하여 배치된다. 이 실시예에 있어서, 처리 영역(220b)은 대략 처리 개구부(230)의 면적과 동일할 수도 있다. 개구부(230)를 통해 흐르는 처리 용액(224)은 처리 영역(220b)과 접촉하고, 처리 전극(226)과 처리 영역(220b) 사이에 전기적 접촉을 확립한다. 도3a에 특정 접촉 영역 및 처리 영역이 도시되었음에도 불구하고, 이들 영역은 워크피스 상의 어디에나 위치될 수 있다는 것이 이해된다. 더욱이, 복수의 접촉 유닛 및 처리 유닛이 사용될 수도 있다. 접촉 용액 및 처리 용액은 상이한 용액일 수도 있고, 또는 이들은 동일한 용액일 수도 있다. 이들이 동일한 용액일 경우, 이들은 워크피스 표면으로부터 제거되는 재료에 대해 효과적인 전기에칭 또는 전해연마 용액일 필요가 있다.

접촉 유닛 및 처리 유닛은 각종 상이한 재료를 사용하는 상이한 방식으로 구성될 수도 있다. 예를 들어, 접촉 전극(209)은 컨테이너(206)의 벽 상에 있거나, 또는 접촉 전극은 실질적으로 컨테이너(206)의 벽일 수 있다. 처리 컨테이너(222)의 구성에 유사 방법이 이용될 수도 있다. 접촉 또는 처리 유닛은, 도전성 전극이 매입되는 절연 스펀지 재료를 포함할 수도 있다. 도3b는, 접촉 용액(208)을 통해 지나가고, 접촉 용액을 유지하는 절연 스펀지 재료(250)를 포함하는 접촉 유닛(202a)에 대한 이러한 경우를 도시한다. 접촉 전극(209)은 스펀지(250)에서 접촉 용액(208)에 접촉한다. 도3b에 도시된 바와 같이, 스펀지 재료가 소프트 재료이고, 표면을 손상시키지 않기 때문에, 스펀지 재료는 전해연마 중에 구리막(102a) 표면에 물리적으로 접촉할 수도 있다는 것이 주목되어야 한다. 유사하게, 처리 유닛의 구성에 있어서, 처리 중에 웨이퍼 표면에 물리적으로 접촉할 수도 있는 절연 스펀지 재료 또는 절연 소프트 패드의 사용은 본 발명의 범위 내에 있다.

도3a를 참조하면, 애노드인 접촉 전극(209)과 캐소드인 처리 전극(226) 사이에 전위가 인가되면, 처리 영역(220b)에서 구리층(102a)의 전기에칭이 개시된다. 전류는 접촉 전극(209)으로부터 접촉 용액(208)으로 지나가고, 접촉 용액을 통해 접촉 영역(220a)에서 구리층(102a)에 들어간다. 그런 다음, 전류는 구리층(102a) 내에서 처리 영역(220b) 쪽으로 흐르고, 전기에칭 용액(224)에 들어가며, 처리 전극(226)으로 흐른다. 이 점에 있어서, 접촉 전극(209)은 접촉 영역(220a)에서의 구리막보다 더 애노드이고, 처리 영역(220b)에서의 구리막은 캐소드(226)보다 더 애노드이다. 처리 영역에서의 구리막의

에노드 전압은 이 특정 영역에서 구리의 전해연마 또는 전기에칭을 야기한다. 이 영역에서 기관으로부터 제거된 구리는 처리 전극(226) 상에 퇴적한다. 용액이 복합체 에이전트(complexing agent)를 포함하도록 될 경우, 구리는 처리 전극(226) 상의 퇴적보다는 오히려 용액 내에 머물도록 할 수 있다. 그러나, 용액이 인산(phosphoric acid) 용액과 같은 표준 전기에칭 용액인 경우의 예를 제공하는 것을 계속할 것이다. 접촉 전극(209)은 Pt 또는 Pt-코팅된 금속, 스테인리스 강, 도전성 그물망 또는 발포체 등과 같은 비활성 재료로 이루어지고, 그에 따라 이 비활성 전극의 에노드 전압은 소정의 재료를 제거할 수 없다. 그러나, 이는 흐르는 용액에 의해 또는 접촉 유닛 내에 형성된 다른 설계에 의해 제거될 수 있는 기포를 발생시킬 수도 있다. 도3c에 이러한 설계의 일례가 도시되어 있고, 이는 접촉 전극(209) 상에 배치된 투과성 장벽(260)을 포함한다. 투과성 장벽(260)은 다공성이고, 이는 접촉 용액(208)을 통과시킨다. 그러나, 투과성 장벽은, 워크피스 표면으로부터 떨어져서 향하게 하는 블리드 개구부(bleed opening)(261) 쪽으로 기포를 안내함으로써, 기포가 기관 표면에 이르는 것을 허용하지 않는다. 또한, 처리 유닛에도 유사 구조가 사용될 수 있다. 도3d에 도시된 또다른 설계는, 1차 컨테이너(206aa) 및 2차 컨테이너(206aaa)를 포함하는 2-챔버 접촉 컨테이너(206a)이다. 접촉 전극(209)은 1차 컨테이너(206aa) 내에 배치되고, 그에 따라 발생하는 소정의 기포는 블리드 개구부(261a)를 통해 기관 표면으로부터 떨어져서 향하게 될 수도 있다. 기포 최소화 또는 제거에 다수의 챔버를 사용하는 접촉 컨테이너 및 처리 컨테이너의 보다 복잡한 설계가 이용될 수 있다.

도3a를 참조하면, 접촉 영역(220a)에서의 구리막이 접촉 전극(209)과 비교하여 볼 때 보다 캐소드이기 때문에, 이 영역에서는 구리 용해가 예상되지 않는다. 사실상, 구리는 이 캐소드 전압에 의해 보호된다. 이 점에 있어서, 접촉 용액이 구리 층의 표면 상으로 퇴적될 수 있는 소정의 재료의 이온을 포함하지 않고, 접촉 전극(209)이 접촉 용액(208)에 의해 에칭 또는 전기에칭될 수도 있는 소정의 재료를 포함하지 않는다는 것은 중요하다. 그러므로, 금속의 이온종을 포함하는 퇴적 용액은 접촉 용액으로 사용하기에 적절하지 않다.

처리 중에, 처리 유닛은 워크피스의 에지와 워크피스의 중심 사이에서 이동되는 한편, 워크피스는 회전되거나 또는 다른 방법으로 이동되는 것이 바람직하다. 웨이퍼의 반경을 따르는 처리 유닛의 이동은, 웨이퍼가 회전함에 따라 웨이퍼의 전체 표면의 전기에칭을 야기할 수 있다. 또한, 다른 운동이 이용될 수도 있다. 중요한 것은, 실질적으로 전체 표면으로부터 구리를 제거하기 위해서, 웨이퍼 상의 모든 지점을 소정의 지점에서는 처리 영역으로 만드는 것이다. 처리 유닛에 의한 웨이퍼 표면의 스캐닝은 웨이퍼 또는 처리 유닛을 이동시킴으로써, 또는 서로에 대하여 이들 양쪽 모두를 이동시킴으로써 달성될 수 있다.

접촉 유닛 및 처리 유닛을 상이한 형상 및 형태로 설계하는 것이 가능하다. 이들 설계는 원형, 타원형, 파이프 형상, 선형 및 다른 것들을 포함하지만, 이들에 제한되지는 않으며, 이들은 접촉 영역 및 처리 영역의 형상을 정의한다. 워크피스 표면과 접촉 및 처리 유닛 사이에 확립된 상대 운동의 속성에 따라, 가장 균일한 전기에칭을 위해서 이들 유닛의 가장 적절한 형상이 선택될 수도 있다. 이들의 3가지 예가 도3e, 도3f 및 도3e에 도시되어 있고, 이들은 처리 유닛(270a, 270b 및 270c) 및 접촉 유닛(280a, 280b 및 280c)의 상면을 도시한다. 구리 코팅된 표면(도시되지 않음)이 처리 용액 및 접촉 용액에 의해 젖도록, 웨이퍼(290)는 처리 유닛 및 접촉 유닛에 아주 근접하여 (바람직하게는, 사용된 용액의 도전율에 따라 0.1 내지 5 mm) 배치된다. 전술된 바와 같이, 전기에칭 프로세스가 개시되면, 도3e에서의 웨이퍼(290)는 접촉 유닛(280a) 및 처리 유닛(270a) 상에서 선형 방향(291)으로 병진이동(translation)될 수도 있다. 웨이퍼는 또한 천천히 회전될 수도 있다. 선형 운동은 양방향일 수도 있고, 또는 양방향일 아닐 수도 있다. 처리 중에, 처리 유닛(270a)은 균일한 재료의 제거를 위해 웨이퍼의 전체 표면을 효과적으로 스캐닝한다. 다수의 접촉 유닛은 언제나 웨이퍼에 대한 전기적 접촉을 보장한다. 심지어 보다 많은 처리 및 접촉 유닛이 이 설계에 사용될 수도 있다(예를 들어, 도6a, 도6b, 도7a, 도7b, 도8a, 도8b, 도9a 및 도9b 참조). 도3f에는 웨이퍼(290)의 회전 운동에 적절한 접촉 유닛(280b) 및 처리 유닛(270b)의 특정 설계가 도시되어 있다. 이 경우에 파이프-형상의 처리 영역은 전체 전면으로부터 균일한 재료의 제거를 위해 웨이퍼 표면을 스캐닝한다. 접촉 유닛(280b)은 웨이퍼 에지의 어디에나 배치될 수 있다. 역시, 이 설계에 다수의 접촉 및 처리 유닛이 사용될 수도 있다. 도3g에 있어서, 링-형 접촉 영역이 제공된다. 재료 제거가 실행되는 처리 영역은 웨이퍼 표면의 나머지를 구성한다. 이 경우, 접촉 영역에 남겨진 구리는 이후에 화학 에칭 또는 전기화학 에칭과 같은 또다른 프로세스를 이용하여 제거될 필요가 있다. 재료 제거의 최상의 균일성을 위해 최적화될 수 있는 처리 및 접촉 유닛의 다수의 다른 형상 및 형태가 있다.

도4a, 도4b 및 도5는 복수의 접촉 유닛 및 처리 유닛을 포함할 수도 있는 2가지 대안적인 전기에칭 시스템을 도시한다. 이들 실시예에서의 접촉 및 처리 유닛은, 유닛이 접촉 용액 뿐만 아니라 처리 용액으로 동일한 전기에칭 용액을 사용하는 것을 허용하는 다양한 기본 구조에 의해 유지된다. 양쪽 모두의 실시예에 있어서, 웨이퍼 표면에 대한 전기적 접촉은 접촉 유닛을 통해 적용된 전기에칭 용액을 통해 확립된다. 그러나, 전술된 바와 같이, 접촉 전극은 웨이퍼의 표면에 물리적으로 접촉하지 않고, 소프트 스펀지 또는 패드와 같은 재료는 접촉 유닛 또는 처리 유닛 내에 배치될 수도 있으며, 이 재료는 접촉 영역 및 처리 영역에서 워크피스 표면에 접촉할 수도 있다. 전기에칭 용액은 접촉 전극과 웨이퍼의 도전성 표면 사이에 도전성 경로를 제공한다.

캐리어(도시되지 않음)에 의해 유지되는 기관(100b)의 구리층(102b)의 처리에 도4a의 대표적인 전기에칭 또는 전해연마 시스템(300)이 사용될 수도 있다. 이 예에서의 전기에칭 시스템도 또한 접촉 유닛(302) 및 처리 유닛(304)을 포함한다. 전술된 실시예와 상이하게, 유닛(302, 304)은 홀더 구조(301)에 의해 유지되거나, 또는 홀더 구조 내에 형성된다. 이 실시예에서의 홀더 구조(301)는 상부 표면(303) 및 저부 표면(305)을 갖는 플레이트로서 형성된다. 전술된 실시예에서 설명된 바와 같이, 접촉 유닛(302)은 액체의(liquid) 전기적 접촉을 통해 도전층(102b)과 전기적 접촉을 확립할 수 있다. 처리 중에, 홀더 구조(301) 및 워크피스는 서로에 대해 이동될 수도 있다. 접촉 유닛(302) 또는 접촉 노즐은 홀더 구조(301)에 형성된 접촉 홀(306)로 이루어질 수도 있다. 접촉 유닛(306) 내부의 접촉 전극(309)은 전기에칭 용액(308) 내에 잠입된다. 전기에칭 용액(308)이 주로 접촉 전극(309)의 상부 표면을 적시는 경우에, 도4a에 도시된 접촉 전극은 접촉 홀(306)을 완전하게 충전할 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 접촉 전극의 상부 표면은 도4a에 도시된 바와 같이 홀더 구조(301)의 상부 표면(303)의 레벨보다 아래에 있을 수도 있고, 홀더 구조(301)의 상부 표면(303)과 동일 레벨에 있을 수도 있으며, 접촉 전극의 상부 표면이 웨이퍼의 표면을 접촉하지 않는 한, 심지어 홀더 구조(301)의 상부 표면(303)보다 위에 있을 수도 있다. 이들 실시예는 본 명세서에서의 모든 예 및 그것의 변형예에 적용가능하다.

이 실시예에 있어서, 전기에칭 용액(308)은 도전층(102b)과의 접촉을 확립하고, 또한 도전층(102b)을 전기에칭하는데 사용된다. 접촉 전극(309)은 전원(310)의 양의 단자에 전기적으로 접속된다. 전기에칭 용액(308)은 유닛을 충전하고, 도전층에 접촉한다. 접촉 개구부(314)는 홀더 구조(301)의 상부 표면(303)의 평면 내에 있는 것이 바람직하다. 주입구(312)는 공통 전기에칭 용액 저장소(도시되지 않음)에 접속될 수도 있고, 또는 전체 구조는 접촉 유닛 및 처리 유닛을 포함하여 모든 간극을 충전하는 전기에칭 용액 내에 잠입될 수도 있다. 접촉 개구부(314)는 도전층(302b)의 표면(103b)의 접촉 영역(320a)에 아주 근접하여 배치된다. 홀더 구조(301) 및 웨이퍼(100b)가 처리 중에 서로에 대하여 이동되기 때문에, 접촉 영역(320a)은 웨이퍼의 표면 상의 소정의 적절한 위치에 있을 수도 있고, 소정의 순간에는 소정의 위치에 있을 수도 있다. 용액(308)이 접촉 영역을 적시에 따라, 용액은 전극(309)과 접촉 영역(320a) 사이에 전기적 접촉을 확립하는데, 이는 용액(308)이 도전성으로 선택되기 때문이다.

처리 유닛(304)은 처리 홀(322)로 이루어질 수도 있다. 처리 전극(326)은 용액(308)과 물리적으로 접촉한다. 처리 전극(326)은 전원(310)의 음의 단자에 전기적으로 접속가능하다. 홀더 구조의 상부 표면(303)은 처리 중에 실질적으로 평행한 방식으로 웨이퍼의 표면에 걸쳐 배치된다. 이 점에 있어서, 처리 개구부(330)는 도전층(102b)의 표면(103b)의 처리 영역(320b)에 아주 근접하여 배치된다. 이 실시예에 있어서, 처리 영역은 대략 개구부(230)의 면적과 동일할 수도 있다. 웨이퍼와 홀더 구조(301) 사이의 상대 운동으로 인해, 처리 영역(320b)은 처리 중의 상이한 때에 웨이퍼의 표면(103b) 상의 다양한 위치에 있을 수도 있다.

도4b는 대표적인 홀더 구조(301)의 상부 표면(303)을 평면으로 도시한다. 상부 표면(303)은 소정의 패턴으로 분포될 수도 있는 유닛(302 및 304)의 접촉 및 처리 개구부(314, 330)를 포함한다. 도4b에 도시된 처리 개구부 및 접촉 개구부의 형상은 단지 대표적인 것인데, 도3a, 도3b, 도3c, 도3d, 도3e, 도3f 및 도3g와 관련하여 전술된 바와 같이, 처리 유닛 또는 접촉 유닛의 다양한 형상 및 형태가 채택될 수도 있다. 전기에칭 용액 내에 잠입되는 접촉 전극(309) 및 처리 전극(326)은 또한 소정의 기하학적 형상 및 단면을 가질 수도 있다. 이들은 그물망 또는 심지어 도전성 발포체의 형태일 수도 있다.

처리 중에, 표면(303)은 균일한 전기에칭을 실행하기 위해서 실질적으로 웨이퍼의 도전성 표면에 평행하다. 전기에칭 용액(308)은 처리 영역(320b)과 접촉하고, 전극(326)과 처리 영역(320b) 사이에 전기적 접촉을 확립한다. 애노드가 되는 접촉 전극과 캐소드가 되는 처리 전극 사이에 전위가 인가되면, 구리층(102b)의 전기에칭이 개시된다. 전류는 접촉 전극(309)으로부터 전기에칭 용액(308)으로 지나가고, 접촉 영역(320a)에서 구리층(102b)에 들어간다. 그런 다음, 전류는 구리막(102b) 내에서 처리 영역(320b) 쪽으로 흐르고, 전기에칭 용액(308)에 들어가며, 캐소드(326)로 흐른다. 웨이퍼의 표면(103b)과 홀더(301)의 상부 표면(303) 사이에 전기에칭 용액이 있을 수도 있음에도 불구하고, 이 전기에칭 용액의 저항률은 구리층의 저항률보다 훨씬 높다. 홀더 구조의 표면과 웨이퍼의 표면 사이의 거리가 0.1 ~ 5mm와 같이 충분히 작을 경우, 에칭 용액의 이 부분의 전체 저항은 또한 더 높을 것이다. 그 결과, 전류는 실질적으로 구리층을 통하는 경로를 따르고, 처리 영역(320b)에서의 전기에칭을 야기한다. 용액을 통한 전류의 소정의 누설은 재료 제거의 효율을 감소시키는데, 그 이유는 이러한 누설 전류가 구리막의 전해연마를 야기하지 않기 때문이다. 이 실시예에 있어서, 전기에칭 용액은 접촉 유닛 및 처리 유닛에 공통 용액이고, 이들 유닛은 웨이퍼 표면과 홀더 구조의 상부 표면 사이에 존재하는 전기에칭 용액을 통해 유동성의(fluid) 통신 상태에 있다는 것이 주목되어야 한다. 전술된 바와 같이, 처리 영역(320b)에서의 구리층의 애노드 전압은 그 영역에서 구리의 전해연마 또는 전기에칭을 야기한다.

처리 중에, 웨이퍼의 전체 표면에 걸쳐 균일한 전기에칭을 달성하기 위해서, 웨이퍼는 회전될 수도 있고/있거나 홀더 구조(301) 상에서 선형으로 이동될 수도 있다. 웨이퍼 표면(103b)을 홀더(301)의 표면(303)에 아주 근접하게 함으로써, 또는 심지어 표면(103b)을 홀더 구조(301)의 상부 표면(303)에 접촉시킴으로써, 처리가 실행될 수도 있다. 웨이퍼 표면이

상부 표면(303)에 물리적으로 접촉될 경우, 상부 표면은 패드 재료를 포함하는 것이 바람직하다. 적절한 패드의 선택의 경우, 전기화학 기계적 에칭 또는 연마 프로세스가 실행될 수 있고, 이는 전술된 바와 같이 원래 비-평면인 워크피스 표면을 평탄화할 수 있으며, 전기화학 기계적 에칭 적용을 위해서, 소프트 패드 또는 그 표면 상에 연마재를 포함하는 패드가 채택될 수도 있다.

도3a 및 도4a에 도시된 전원(210 및 310)은 전해연마를 달성하는데 필요한 전력을 제공한다. 설명된 다양한 전극은 모두 단일 전원에 접속될 수도 있고, 또는 서로로부터 독립적으로 제어될 수도 있는 구역을 형성하기 위해 전극의 그룹에 다수의 전원이 접속될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 예를 들어, 처리 전극들의 제1 그룹은 웨이퍼의 근접-에지 표면으로부터 구리를 제거하는데 사용될 수도 있고, 이들은 제1 전원의 음의 단자에 접속될 수도 있다. 처리 전극들의 제2 그룹은, 웨이퍼 표면의 중심 영역으로부터 구리를 제거하기 위해서 이 중심 영역을 스캐닝할 수도 있다. 이 처리 전극들의 제2 그룹은 제2 전원의 음의 단자에 접속될 수도 있다. 이 경우, 전해연마 프로세스는 제2 전원 및 처리 전극들의 제2 그룹을 사용하여 웨이퍼의 중심 영역에서 실행될 수도 있다. 그런 다음, 근접-에지 부분으로부터의 구리 제거는 제1 전원에 의해 처리 전극들의 제1 그룹에 전력을 공급함으로써 개시될 수도 있다. 웨이퍼 상의 다수의 상이한 구역으로부터 독립적으로 재료를 제거하는 능력은 고도로 균일한 전해연마를 얻는데 있어서 두드러진 융통성을 허용한다. 구역의 수 및 구역당 전극의 수는 실제 작거나 클 수도 있다. 접촉 전극은 상이한 구역으로 분할될 수도 있고, 또는 분할되지 않을 수도 있다.

웨이퍼 상의 소정의 구역으로부터 구리가 제거될 때, 전압이 일정할 경우, 그 구역을 통해 지나가는 전류가 감소되는 것이 예상된다. 선택적으로, 전원으로서 정전류원이 사용되는 경우, 표면으로부터 구리가 제거됨에 따라, 전압 강하가 증가되는 것이 예상된다. 전류 또는 전압에서의 이들 변화는 웨이퍼 표면으로부터 제거된 재료의 양을 모니터링하는데 이용될 수 있다. 소정의 시간에 웨이퍼 표면 상의 소정의 처리 영역의 위치 및 전류와 전압의 값을 알면, 처리 영역에 남겨진 구리의 양을 판정할 수 있다. 전원으로서 정전압원이 사용될 경우, 전기에칭에 의해 소정의 처리 영역에서 구리가 제거됨에 따라, 전류값은 떨어지고, 그에 따라 전기에칭 속도도 떨어진다. 이러한 방식으로, 구리가 제거되는 웨이퍼의 영역에서 전기에칭 프로세스의 이러한 자기-제한(self-limiting)이 달성된다. 이는 도1a에 도시된 바와 같은 피처 내에서의 구리 손실을 방지하기 위해 중요하다.

도5는 구리층(102c)을 전기화학적으로 에칭하는데 사용될 수 있는 또다른 대표적인 전기에칭 또는 전해연마 시스템(400)을 도시한다. 시스템(400)은 복수의 접촉 및 처리 유닛을 포함한다. 이 실시예에 있어서, 전기에칭 용액 내에 잠입되는 공통 캐소드는 처리 유닛을 통해 층(102c)을 전기에칭하는데 사용되고, 접촉 유닛을 통해 층(102c)에 전력을 제공한다. 이 설계는, 재료가 웨이퍼의 표면으로부터 제거되고, 공통 캐소드 상에 퇴적되는 상태로 되는 경우에 특히 두드러진다. 캐소드가 크고, 웨이퍼 표면으로부터 떨어져 있기 때문에, 캐소드를 클리닝하거나 또는 대체할 필요가 있기 전에, 이 방법으로 수천의 웨이퍼와 같은 다수의 웨이퍼가 처리될 수 있다. 도5를 참조하면, 홀더 구조(401) 내에 복수의 접촉 유닛(402) 및 처리 유닛(404)이 형성될 수도 있다. 이 실시예에서의 홀더 구조(401)는 또한 상부 표면(403) 및 저부 표면(405)을 갖는 플레이트로서 형성된다. 시스템(400)은 전술된 실시예에서 시스템(300)이 작동되는 방식으로 작동된다.

도5에 도시된 예에서, 접촉 유닛(402) 또는 접촉 노즐은 홀더(401)에 형성된 접촉 홀(406)로 이루어진다. 접촉 전극(409)은 접촉 홀(406)의 내부에 배치되고, 그에 따라 전기에칭 용액(408) 내에 잠입된다. 전술된 바와 같이, 이 실시예에 있어서, 도전층(102c)과의 접촉을 확립하고, 도전층을 전기에칭하는데 전기에칭 용액(408)이 사용된다. 접촉 전극(409)은 전원(410)의 양의 단자에 전기적으로 접속된다. 이 실시예에 있어서, 처리 유닛(404) 또는 노즐은 홀더 구조(401)를 통해 형성된 처리 홀(430) 또는 처리 개구부로 이루어진다. 전기에칭 용액(408)은 접촉 홀(406) 뿐만 아니라 처리 홀(430)을 충전한다. 처리 중에, 접촉 홀은 웨이퍼 표면에 아주 근접하고, 이들은 도전층(102c)의 표면(103c) 상의 접촉 영역(420a)을 한정한다. 캐소드인 공통 처리 전극(426)은 저장소 내에 배치되고, 전기에칭 용액(408)과 물리적으로 접촉하여 있다. 처리 전극(426)은 전원(410)의 음의 단자에 전기적으로 접속된다. 전기에칭 용액(408)은 처리 홀(430)을 충전한다. 이 실시예에 있어서, 접촉 전극으로부터 전기에칭 용액을 통한 처리 전극으로의 전류 누설을 최소화하기 위해서, 접촉 전극은 웨이퍼에 아주 근접하여 배치될 수도 있고, 접촉 전극보다 아래에 절연 플러그(450)가 사용될 수도 있다. 이들 절연 플러그는 용액에 의해 투과성일 수도 있고, 또는 투과성이 아닐 수도 있다. 다양한 전극을 전원에 접속시키는 와이어는 용액으로부터 절연되는 것이 바람직하다.

처리 중에, 홀더(401)의 상부 표면(403)은 웨이퍼 표면과 물리적으로 접촉할 수도 있고, 또는 접촉하지 않을 수도 있다. 물리적 접촉이 있을 경우, 상부 표면(403)은 패드를 포함하는 것이 바람직하다. 또한, 특히 구리 전해연마 단계 중에 평탄화가 필요할 경우, 재료의 제거 프로세스를 보조하도록 웨이퍼의 표면을 스위핑(sweeping)하기 위해서, 상부 표면에 고정된 연마재 패드를 사용하는 것도 가능하다. 홀더(401)는 그것으로 절단되는 접촉 개구부(406) 및 처리 개구부(430)를 갖는 패드 재료로 이루어질 수도 있다. 그런 다음, 패드에 접촉 전극(409)이 배치될 수도 있다. 접촉 전극은 전압 강하를 감소

시킴을 위해 상부 표면(403)에 아주 근접하여 배치될 수도 있지만, 이들은 구리층(102c)의 표면과의 물리적 접촉을 방지하기 위해 표면(403) 이상으로 돌출되지 않아야 한다. 전술된 바와 같이 처리 개구부(430) 및 접촉 개구부(406)의 다양한 설계를 갖는 홀더 구조가 채택될 수도 있다.

도6a 내지 도9b는 다양한 접촉 및 처리 유닛 설계를 갖는 이들 상이한 홀더 구조의 몇몇을 도시한다. 모든 전술된 실시예에서와 같이, 다음의 실시예에 있어서, 접촉 유닛 내의 접촉 전극은 전해연마되는 웨이퍼 표면과 물리적으로 접촉하지 않는다. 접촉 전극 및 표면에 접촉하는 처리 용액을 통해 처리 중인 웨이퍼 표면과 접촉 전극 사이의 전기적 도전이 제공된다.

일 실시예에서 예시된 바와 같이, 투시도인 도6a 및 평면도인 도6b에 있어서, 홀더 구조(460)는 상부 표면(462) 및 저부 표면(464)을 갖는다. 다수의 접촉 유닛(466)은 홀더 구조(460)의 상부 표면(462) 내에 형성된다. 또한, 홀더 구조(460)를 통해, 상부 표면(462)과 저부 표면(464) 사이에, 다수의 처리 유닛(468)이 형성된다. 이 실시예에 있어서, 접촉 유닛(466)은 저부벽(470) 및 측벽(472)을 갖는 채널이다, 바람직하게는 단면이 근접-장방형이다. 이 실시예에 있어서, 채널이 평행하게 분포되고, 서로 등거리로 분리되어 있음에도 불구하고, 이들은 비-평행 또는 방사형과 같은 소정의 방식으로 분포될 수도 있고, 채널들 사이의 거리가 변할 수도 있다. 접촉 전극(474)은 채널(466) 내에, 바람직하게는 저부벽(470) 상에 배치된다. 전극은 채널을 따라 연장되는 바(bar) 또는 와이어로서 형성된다. 필요하지는 않지만, 전극(474)과 저부벽(470) 사이에 접촉 베이스(476)가 있을 수도 있다. 접촉 전극은 저부벽(470) 상에 직접 배치될 수도 있다. 이러한 경우, 베이스(476)는 홀더 구조(460)의 저부 표면에 대해 하향 연장될 수도 있고, 절연체로 이루어질 수도 있다. 전극의 높이는, 처리 중에 전극이 전해연마되는 웨이퍼 표면에 접촉할 수 없지만, 처리 용액을 통해 전류가 흐르도록, 채널의 깊이보다 약간 낮게 또는 표면(462)의 레벨에 있다. 절연된 와이어(478)는 전극을 전원(도시되지 않음)의 단자에 접속시킨다. 이 실시예에 있어서, 처리 유닛(468)은, 홀더 구조를 통해 연장되고, 상부 표면으로 용액이 흐르도록 하는 원형 홀로서 형성될 수도 있다. 홀(468)은 장방형 또는 슬릿을 포함하는 소정의 다른 기하학적 형태일 수도 있다. 처리 유닛은 또한 채널들(466) 사이의 연속 슬릿일 수도 있다.

도6a, 도6b, 도7a, 도7b, 도8a, 도8b, 도9a, 도9b, 도10a 및 도10b의 설계가, 도5에 도시된 개념, 즉 하나의 캐소드 및 다수의 접촉 전극을 갖는 설계에 적용되는 바와 같이 설명된다는 것이 주목되어야 한다. 그러나, 이들 특징에 제공된 설계 및 개념이 또한 도3a, 도3b, 도3c, 도3d, 도3e, 도3f, 도3g 및 도4a에 도시된 경우에 직접 적용가능하다는 것이 인식되어야 한다. 예를 들어, 도6a의 설계에 있어서, 모든 다른 채널(466)은 접촉 전극(474)(도4a에서 도면부호(309)로 도시됨)을 그 안에 갖는 접촉 유닛(도4a에서 도면부호(302)로 도시됨)이 될 수도 있다. 그런 다음, 이 접촉 유닛들 사이에서, 모든 다른 채널(466)은 처리 유닛(도4a에서 도면부호(304)로 도시됨)이 될 수 있고, 이들 처리 유닛 내의 전극은 처리 전극(도4a에서 도면부호(326)으로 도시됨)으로 된다. 이 경우, 용액은 개구부(도6a에서 도면부호(468)로 도시됨)를 통해 공급되고, 전력은 도4a에 도시된 바와 같이 접촉 전극과 처리 전극 사이에 인가된다. 이 경우, 모든 접촉 전극이 함께 접속되고, 모든 처리 전극이 함께 접속될 경우, 단일 전원이 사용될 수 있다. 선택적으로, 전술된 바와 같이, 다수의 접촉 전극-처리 전극 쌍에 전력을 공급하는데 다수의 전원이 사용될 수 있고, 또는 단일 전원이 접촉 전극-처리 전극의 다양한 쌍들 사이에서 교환될 수도 있다.

도7a는 전술된 실시예에서 도시된 홀더 구조(460)의 변형인 홀더 구조(480)의 또다른 실시예를 평면으로 도시하고, 도7b는 부분 단면으로 도시한다. 홀더 구조(480)는 채널(486) 및 홀(488)을 포함한다. 이 예에서의 채널은 대각 방식으로 배치되고, 등거리로 서로 평행하게 배치된다. 채널(486)은 장방형이고, 도7b에 도시된 바와 같이 저부벽(490) 및 측벽(492)으로 한정된다. 접촉 전극(494)은 채널(486)의 저부를 따라 윤곽이 그려지는 비드로서 형성되고, 전원(도시되지 않음)의 단자에 접속된다. 전술된 바와 같이, 접촉 전극(494)은 전극 베이스(496) 상에 배치될 수도 있고, 또는 배치되지 않을 수도 있다.

도8a 내지 도8b는 홀더 구조(500)의 또다른 실시예를 도시한다. 투시도인 도8a 및 평면도인 도8b에 있어서, 홀더 구조(500)는 상부 표면(502) 및 저부 표면(504)을 갖는다. 다수의 접촉 유닛(506)은 상부 표면(502)에 형성된다. 또한, 홀더 구조(500)를 통해, 상부 표면(502)과 저부 표면(504) 사이에, 다수의 처리 유닛(508)이 형성된다. 이 실시예에 있어서, 접촉 유닛(506)은 저부벽(510) 및 측벽(512)을 갖는 채널이다, 바람직하게는 단면이 장방형 단면이다. 전술된 실시예에서와 같이, 채널은 평행하게 분포되고, 서로 등거리로 분리되며, 이들은 또한 비-평행 또는 방사형과 같은 소정의 방식으로 분포될 수도 있고, 채널들 사이의 거리는 변할 수도 있다. 이 실시예에 있어서, 접촉 전극(514)은 얇은 도전성 와이어 또는 털(bristle)로 이루어지는 도전성 브러시인 것이 바람직하다. 접촉 전극(514)은 채널(506) 내에, 바람직하게는 저부벽(510) 상에 배치된다. 전술된 실시예에서와 같이, 도전성 브러시(514)와 저부벽(510) 사이에, 접촉 베이스(516)가 있을 수도 있다. 도전성 브러시(514)의 높이는, 처리 중에 브러시(514)가 전해연마되는 웨이퍼 표면에 접촉하지 않을 수 있지만, 처리 용액을 통해 전류가 흐르도록, 채널(506)의 깊이보다 약간 낮은 것이 바람직하다. 전술된 실시예에서와 같이, 베이스(516)는 홀더 구조(500)의 저부 표면에 대해 하향 연장될 수도 있고, 절연체로 이루어질 수도 있다. 절연된 전선(518)은 도전성

브러시를 전원(도시되지 않음)의 단자에 접속시킨다. 이 실시예에 있어서, 처리 유닛(508)은, 홀더 구조를 통해 연장되고, 처리 중에 용액이 상부 표면으로 흐르도록 하는 원형 홀로서 형성될 수도 있다. 홀(502)은 장방형 또는 소정의 다른 기하학적 형태일 수도 있다.

도9a 내지 도9b는 전술된 실시예에서 사용된 도전성 브러시를 이용하는 홀더 구조의 또다른 실시예를 도시한다. 물론, 도전성 브러시의 사용은 본 실시예를 예시하기 위한 것이다. 도9a 내지 도9b와 관련하여 설명된 다른 실시예에서 소정의 다른 형상 및 지오메트리를 갖는 접촉 전극이 사용될 수도 있다. 유사하게, 처리 유닛과 접촉 유닛의 상이한 형상, 크기 및 지오메트리 뿐만 아니라 홀더 구조 상의 이들의 가능한 분포의 대안책은 본 발명의 범위 내에 있다.

투시도인 도9a 및 부분 투시 측면도인 도9b에 도시된 바와 같이, 홀더 구조(520)는 전술된 실시예에서 도시된 홀더 구조(500)의 변형이다. 홀더 구조(520)는 접촉 유닛(526) 및 처리 유닛(528)을 포함한다. 이 예에서의 처리 유닛(528)은 대각 방식으로, 서로 등거리로 평행하게 배치된다. 이 실시예에서의 처리 유닛은, 홀더 구조(520)의 상부 표면(522)과 저부 표면(524) 사이에 연장되고, 처리 용액이 흐르도록 하는 슬릿으로서 형성된다. 이 실시예에서의 접촉 유닛(526)은 홀더 구조 내에 홀로서 형성된다. 접촉 유닛(526)은, 이 예에서는 원통형인 측벽(532) 및 저부벽(530)을 포함한다. 접촉 유닛(526)의 저부벽(530) 상에 도전성 브러시(534)가 배치되고, 이는 전원(도시되지 않음)의 단자에 접속된다. 전술된 바와 같이, 접촉 전극(534)은 전극 베이스(536) 상에 배치될 수도 있다.

도10a 및 도10b에는 본 발명의 숨겨진 전기적 접촉 개념을 채택하는 2가지 다른 설계가 도시되어 있다. 도10a에 도시된 바와 같이, 접촉 전극(600)은 지지체(601) 상에 있고, 이들은 구리층(102c)의 표면(103c)에 아주 근접하여 있다. 지지체(601)는 개방 프레임으로 이루어질 수도 있는 홀더 구조(도시되지 않음)에 의해 유지될 수도 있다. 지지체(601)는 절연체로 이루어지고, 접촉 전극이 애노드로 되게 하는 전압이 전극과 접촉 전극 사이에 인가될 때, 지지체는 접촉 전극(600)으로부터 전해연마 용액(608)을 통해 전극(626)으로 흐를 수도 있는 전류 누설을 감소시킨다. 동작에 있어서, 접촉 전극(600)은 표면(103c)에 접촉하지 않는다. 그러나, 표면으로의 접촉 전극의 아주 근접함은 구리 표면(103c)으로 접촉 전극(600)을 전기적으로 커플링한다. 전술된 예에서와 같이, 대부분의 재료 제거는 접촉 전극들 사이에 있는 영역, 즉 처리 개구부에서의 웨이퍼 표면 상에서 일어난다. 이 설계에 있어서 누설 전류의 감소는 중요하다. 이러한 감소는, 웨이퍼를 향하는 표면을 제외하고 접촉 전극의 모든 표면을 절연시킴으로써, 또한 웨이퍼와 접촉 전극들 사이의 거리를 감소시킴으로써 달성될 수도 있다. 도10b에는 접촉처리(touchprocessing)에 이용될 수 있는 도10a에서의 설계의 변형이 도시되어 있다. 도10b에 있어서, 접촉 전극(600b) 및 구조(601b)는 스펀지 재료(620) 또는 패드 재료 내에 매입된다. 스펀지 재료는, 전기에칭 용액(608b)이 접촉 전극(626b) 뿐만 아니라 웨이퍼 표면을 적시는 것을 허용하는 다공성의 중합체 패드일 수도 있다. 전해연마 중에, 구리층(102c)의 표면은 패드 재료의 표면에 접촉할 수도 있고, 또는 접촉하지 않을 수도 있다. 역시, 이 실시예에 있어서, 대부분의 재료 제거는, 도10b에 도시된 바와 같은 스펀지 재료를 포함할 수도 있는 접촉 전극들 사이에 있는 영역, 즉 처리 개구부에서의 웨이퍼 표면 상에서 일어난다, 또는 스펀지 재료는 전해물(electrolyte)의 흐름에 대한 전기적 저항을 감소시키기 위해서 이들 처리 개구부로부터 제거될 수도 있다. 특히 전해연마 중에 평탄화가 필요한 경우, 즉 시작 구리 표면이 비-평면인 경우, 패드 재료의 표면은 재료 제거 프로세스를 보조하기 위한 연마재를 포함할 수도 있다.

도11a 및 도11b는 도10a에 설명된 시스템을 사용하는 전해연마 프로세스의 대표적인 단계를 개략적으로 도시한다. 명쾌함을 위해 이 예에서, 시스템(700)은 2개의 접촉 전극, 즉 제1 접촉 전극(701a) 및 제2 접촉 전극(701b)을 포함한다. 전극은 지지체(702) 상에 배치되고, 전원의 양의 단자에 접속된다. 이 점에 있어서, 캐소드 전극(705)은 또한 전원의 음의 단자에 접속된다. 전해연마 프로세스가 2개의 접촉 전극을 사용하여 예시되기 때문에, 도11a 내지 도11b에는 캐소드 전극(705)의 일부가 도시된다.

구리층(706)을 갖는 대표적인 기관(704)에 전해연마 프로세스가 적용된다. 접촉 전극들 사이에 있는 처리 개구부(707)에서의 웨이퍼 표면 상에서 재료 제거가 일어난다. 기관(704)은 구리층으로 충전된 피쳐(708)를 포함하는 반도체 기관일 수도 있다. 기관(704)의 표면 및 피쳐(708)는 구리의 도전률보다 일반적으로 낮은 도전률을 갖는 장벽층(710)으로 윤곽이 그려질 수도 있다. 전술된 바와 같이, Ta, W, WN, WCN 또는 TaN이 구리 퇴적을 위한 장벽 재료로 일반적이다. 전해연마 용액(712)과 같은 구리 제거 용액은 구리층(706) 및 캐소드 전극(705)과 접촉하여 있다(또한, 도10a 참조).

도11a에 도시된 바와 같이, 전해연마 처리의 소정의 순간에, 접촉 전극(701a, 701b)은 구리층에 아주 근접하여 배치된다. 접촉 전극(701a, 701b)으로부터의 전류가 구리층(706)을 통해 흐름에 따라, 구리층(706)의 표면 부분(714)이 제거되거나 전해연마된다. 표면 부분은 처리 홀(707) 및 접촉 전극에 걸쳐 위치되는 구리층의 일부이다. 도11a에 도시된 바와 같이, 제1 접촉 전극(701a) 및 제2 접촉 전극(701b)으로부터의 전류의 흐름 방향은 각각 화살표(A 및 B)로 표시된다. 전해연마는 구리층의 두께를 장벽층 레벨에 대해 아래로 균일하게 감소시키고, 장벽층 상에 도전성 구리가 남아있는 한 계속된다. 부분(714)의 제거 중에, 전류 흐름에 대한 저항이 증가하고, 전류 흐름은 여전히 도전성 구리를 가질 수도 있는 최소 저항성 경로를 선택하며, 표면 부분(714)이 거의 완전하게 제거될 때까지 잔존 구리를 에칭하는 것을 계속한다. 이는, 도11b

에 도시된 바와 같이 인접 위치 이상으로 이동하기 전에, 구리층의 전해연마가 표면의 그 위치에서 정지하도록, 즉 자기-제한을 처리하도록 한다. 도11b는, 전해연마 프로세스 중에 구리층(706)의 잔존 부분에 걸쳐 시스템(700)이 이동될 때의 또다른 순간을 도시한다. 접촉 전극(701a)이 구리층(706)에 걸쳐 이동됨에 따라, 전류는 잔존 층을 통해 흐르고, 전해연마 프로세스를 시작한다. 이 때, 제2 접촉 전극이 여전히 노출된 장벽층보다 위에 있기 때문에, 제2 접촉 전극으로부터의 전류 흐름은 저항에 직면한다. 이는, 제2 전극(701b)를 통해 흐르는 전류( $I_2$ )와 비교하여 볼 때 보다 큰 전류( $I_1$ )가 제1 전극(701a) 및 경로(A)를 통해 흐르도록 한다. 제1 접촉 전극으로부터의 전류의 흐름은 잔존 구리의 전해연마를 야기하는 한편, 전극(701b)을 통한 전류의 작은 흐름 또는 결여는 장벽이 노출되는 영역으로부터의 추가적인 구리 제거를 저지한다. 따라서, 시스템(700)은, 프로세스가 진행됨에 따라, 특정 전극에 걸치는 잔존 구리에 따라 특정 접촉 전극으로부터의 전류 흐름을 감소 및 증가시킬 수 있고, 일단 장벽이 노출되면, 구리 제거는 피처(708) 내에서의 구리 손실을 방지하기 위해 철저하게 감소되거나 저지된다.

본 특허출원에서의 소정의 도면과 관련하여 설명된 기포 제거 수단과 같은 다양한 특징이 또한 소정의 다른 설계에 이용될 수도 있다는 것이 주목되어야 한다. 전원의 속성이 정의되지 않음에도 불구하고, 전원은 펄스 발생기와 같은 가변 전압 전원 또는 DC 전원일 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 전해연마 전압 또는 전류는, 그 결과로서 생기는 워크피스 표면의 표면 품질 및 균일한 재료의 제거에 관해 최상의 처리 결과를 얻기 위해서 처리 중에 변할 수도 있다. 예를 들어, 평활한 표면을 얻기 위해서, 높은 전류 밀도, 즉, 보다 높은 연마 전압이 프로세스에서 일찍부터 이용될 수도 있지만, 전류 밀도는 보다 정밀한 종점 검출을 갖기 위해 감소될 수도 있다. 접촉 및 처리 영역은 다수의 상이한 형상 및 크기를 가질 수도 있다. 접촉 전극과 워크피스 표면 사이의 거리는 전체에 걸쳐 균일할 수도 있고, 또는 가변될 수도 있다. 구리 제거에 사용될 수 있는 전해연마 용액은 일반적으로 채택된 인산 용액을 포함한다.

다양한 바람직한 실시예 및 최적 모드가 전술된 바와 같이 보다 상세하게 설명되었음에도 불구하고, 당업자는 본 발명의 새로운 교시 및 이점을 벗어나지 않고도 대표적인 실시예의 다수의 변형이 가능하다는 것을 손쉽게 인식할 것이다.

## (57) 청구의 범위

### 청구항 1.

워크피스(workpiece) 상의 도전층의 표면을 전해연마(electropolishing)하기 위한 프로세스에 있어서,

접촉 용액 내에 접촉 전극을 잠입(immersion)시키는 단계;

접촉 영역을 한정하기 위해서, 상기 도전층의 표면의 일부를 상기 접촉 용액과 접촉시키는 단계;

처리 용액 내에 처리 전극을 잠입시키는 단계;

처리 영역을 한정하기 위해서, 상기 도전층의 표면의 일부를 상기 처리 용액과 접촉시키는 단계; 및

상기 처리 영역의 상기 도전층의 표면을 전해연마하기 위해서, 상기 접촉 전극과 상기 처리 전극 사이에 전위를 인가하는 단계

를 포함하는 프로세스.

### 청구항 2.

제1항에 있어서,

상기 영역들 중 적어도 하나를 상기 도전층의 표면 상의 제1 위치로부터 제2 위치로 이동시키는 단계

를 더 포함하는 프로세스.

### 청구항 3.

제1항 또는 제2항에 있어서,

실질적으로 상기 도전층의 전체 표면의 전해연마를 야기하기 위해서, 상기 도전층의 표면 상의 각 지점이 적어도 한 번은 접촉 영역이 되고, 상기 도전층의 표면 상의 각 지점이 적어도 한 번은 처리 영역이 되도록, 상기 도전층과 상기 영역들 사이의 상대 운동(relative motion)을 유지하는 단계

를 더 포함하는 프로세스.

#### 청구항 4.

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 접촉 용액 및 상기 처리 용액은 동일한 도전성 용액인

프로세스.

#### 청구항 5.

제4항에 있어서,

상기 도전성 용액은 상기 도전층의 표면과 접촉하는

프로세스.

#### 청구항 6.

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서,

제2 접촉 전극을 더 포함하고,

상기 접촉 용액 내에 상기 제2 접촉 전극을 잠입시키는 단계; 및

제2 접촉 영역을 한정하기 위해서, 상기 도전층의 표면의 일부를 상기 접촉 용액과 접촉시키는 단계

를 더 포함하며,

여기서, 상기 전위를 인가하는 단계는 상기 접촉 전극들과 상기 처리 전극 사이에 상기 전위를 인가하는 것을 포함하는

프로세스.

#### 청구항 7.

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

제2 처리 영역을 한정하기 위해서, 상기 도전층의 표면의 일부를 상기 처리 용액과 접촉시키는 단계

를 더 포함하는 프로세스.

### 청구항 8.

제6항 또는 제7항에 있어서,  
제2 처리 전극을 더 포함하고,  
상기 처리 용액 내에 상기 제2 처리 전극을 잠입시키는 단계; 및  
제2 처리 영역을 한정하기 위해서, 상기 도전층의 표면의 일부를 상기 처리 용액과 접촉시키는 단계  
를 더 포함하며,  
여기서, 상기 전위를 인가하는 단계는 상기 접촉 전극들과 상기 처리 전극들 사이에 상기 전위를 인가하는 것을 포함하는  
프로세스.

### 청구항 9.

제8항에 있어서,  
상기 도전층의 표면에 대하여 상기 접촉 영역 또는 상기 처리 영역 중 적어도 하나를 이동시키는 단계  
를 더 포함하는 프로세스.

### 청구항 10.

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 도전층의 표면의 비균일성을 평탄화하기 위해서, 상기 도전층의 표면을 패드의 상부 표면과 접촉시키는 단계  
를 더 포함하는 프로세스.

### 청구항 11.

제10항에 있어서,  
상기 접촉시키는 단계는 상기 도전층의 표면을 상기 패드의 상부 표면과 간헐적으로 접촉시키는 것을 포함하는  
프로세스.

### 청구항 12.

제10항에 있어서,  
상기 패드의 상부 표면은 연마재(abrasives)를 포함하는

프로세스.

### 청구항 13.

제12항에 있어서,  
상기 도전층의 표면을 평탄화하는 단계  
를 더 포함하는 프로세스.

### 청구항 14.

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항의 프로세스를 포함하여 집적 회로를 제조하는 방법.

### 청구항 15.

워크피스 상의 도전층의 표면을 전해연마하기 위한 장치에 있어서,

접촉 용액, 상기 접촉 용액 내에 잠입되는 접촉 전극을 포함하고, 접촉 영역을 한정하기 위해서, 상기 접촉 용액이 상기 도전층의 표면의 일부와 접촉하는 개구부를 갖는 접촉 유닛; 및

처리 용액, 상기 처리 용액 내에 잠입되는 처리 전극을 포함하고, 처리 영역을 한정하기 위해서, 상기 처리 용액이 상기 도전층의 표면의 일부와 접촉하는 개구부를 가지며, 상기 접촉 전극과 상기 처리 전극 사이에 인가된 전위차에 응답하여, 상기 처리 영역에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하도록 구성된 처리 유닛

을 포함하는 장치.

### 청구항 16.

제15항에 있어서,  
상기 접촉 전극은 상기 도전층의 표면에 근접하는  
장치.

### 청구항 17.

제15항 또는 제16항에 있어서,  
상기 처리 전극은 상기 도전층의 표면에 근접하는  
장치.

### 청구항 18.

제15항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 전위차는 DC 전압을 포함하는  
장치.

### 청구항 19.

제15항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 전위차는 가변 전압을 포함하는  
장치.

### 청구항 20.

제15항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 접촉 용액 및 상기 처리 용액은 상기 도전층의 표면과 접촉하는 동일한 도전성 용액인  
장치.

### 청구항 21.

제15항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서,  
실질적으로 상기 워크피스 상의 상기 도전층의 전체 표면을 전해연마하기 위해서, 상기 처리 영역과 상기 도전층의 표면  
사이에 상대 운동을 생성하기 위한 메커니즘  
을 더 포함하는 장치.

### 청구항 22.

제21항에 있어서,  
상기 메커니즘은 상기 접촉 영역과 상기 도전층의 표면 사이에 상대 운동을 생성하는  
장치.

### 청구항 23.

제15항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 처리 유닛은, 제2 처리 영역을 한정하기 위해서 상기 처리 용액이 상기 도전층의 표면의 일부와 접촉하는 제2 처리  
개구부를 포함하고, 상기 접촉 전극과 상기 처리 전극 사이에 인가된 상기 전위차는 상기 제2 처리 영역에 의해 한정된 상  
기 도전층의 표면을 전해연마하는

장치.

#### 청구항 24.

제15항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 처리 유닛은, 복수의 처리 영역을 한정하기 위해서 상기 처리 용액이 상기 도전층의 표면의 부분들과 접촉하는 복수의 처리 개구부를 포함하고, 상기 접촉 전극과 상기 처리 전극 사이에 인가된 상기 전위차는 상기 복수의 처리 영역에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하는

장치.

#### 청구항 25.

제24항에 있어서,

상기 접촉 유닛은, 상기 접촉 용액이 상기 도전층의 표면의 부분들과 접촉하는 복수의 접촉 개구부를 포함하고, 각 접촉 개구부는 그 안에 배치된 접촉 전극을 포함하며, 상기 접촉 전극들과 상기 처리 전극 사이에 인가된 상기 전위차는 상기 복수의 처리 영역에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하는

장치.

#### 청구항 26.

제25항에 있어서,

각 처리 개구부는, 상기 접촉 전극들과 상기 처리 전극들 사이에 인가된 전위차에 응답하여 상기 복수의 처리 영역에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하도록 구성된 처리 전극을 포함하는

장치.

#### 청구항 27.

제26항에 있어서,

상기 접촉 전극들 및 상기 처리 전극들은 상기 도전층의 표면에 근접하는

장치.

#### 청구항 28.

제25항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도전층의 표면의 부분들과 접촉하도록 구성된 접촉 유닛들의 제1 세트

를 더 포함하고,

여기서, 접촉 유닛들의 제1 세트의 상기 접촉 전극들과 상기 처리 전극 사이에 인가된 상기 전위차는 처리 영역들의 제1 세트에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하는

장치.

### 청구항 29.

제28항에 있어서,

상기 도전층의 표면의 부분들과 접촉하도록 구성된 접촉 유닛들의 제2 세트

를 더 포함하고,

여기서, 접촉 유닛들의 제2 세트의 상기 접촉 전극들과 상기 처리 전극 사이에 인가된 제2 전위차는 처리 영역들의 제2 세트에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하는

장치.

### 청구항 30.

제29항에 있어서,

상기 접촉 유닛들의 제1 세트 및 상기 접촉 유닛들의 제2 세트는 동일한 접촉 유닛들의 세트인

장치.

### 청구항 31.

제29항 또는 제30항에 있어서,

상기 전위차를 인가하기 위해서, 제1 접촉 구역 또는 제2 접촉 구역을 선택하도록 구성된 구역 스위치(zone switch)

를 더 포함하는 장치.

### 청구항 32.

제31항에 있어서,

상기 전위차 및 상기 제2 전위차는 상이한 전압인

장치.

### 청구항 33.

제32항에 있어서,

상기 복수의 접촉 유닛의 제1 세트의 접촉 전극들과 상기 처리 전극 사이에 인가된 상기 전위차 및 상기 복수의 접촉 유닛의 제2 세트의 접촉 전극들과 상기 처리 전극 사이에 인가된 제2 전위차는 순차적으로 인가되는

장치.

#### 청구항 34.

제26항 내지 제33항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도전층의 표면의 부분들과 접촉하도록 구성된 처리 유닛들의 제1 세트 및 접촉 유닛들의 제1 세트

를 더 포함하고,

여기서, 상기 접촉 유닛들의 제1 세트의 접촉 전극들과 상기 처리 유닛들의 제1 세트의 처리 전극들 사이에 인가된 상기 전위차는 처리 영역들의 제1 세트에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하는

장치.

#### 청구항 35.

제34항에 있어서,

상기 도전층의 표면의 부분들과 접촉하도록 구성된 처리 유닛들의 제2 세트 및 제2 접촉 구역을 한정하는 접촉 유닛들의 제2 세트

를 더 포함하고,

여기서, 상기 접촉 유닛들의 제2 세트의 접촉 전극들과 상기 처리 유닛들의 제2 세트의 처리 전극들 사이에 인가된 제2 전위차는 처리 영역들의 제2 세트에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하는

장치.

#### 청구항 36.

제35항에 있어서,

상기 접촉 유닛들의 제1 세트 및 상기 접촉 유닛들의 제2 세트는 동일한 접촉 유닛들의 세트인

장치.

#### 청구항 37.

제15항 내지 제36항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도전층의 표면을 평탄화하기 위해서, 상기 도전층의 표면과 접촉하도록 구성된 상부 표면을 갖는 패드

를 더 포함하는 장치.

**청구항 38.**

제37항에 있어서,  
상기 패드의 상부 표면은 연마재인  
장치.

**청구항 39.**

제37항 또는 제38항에 있어서,  
상기 접촉 전극 및 상기 처리 전극을 유지하도록 구성된 홀더 구조  
를 더 포함하고,  
여기서, 상기 패드는 상기 홀더 구조와 상기 도전층의 표면 사이에 배치되는  
장치.

**청구항 40.**

전해연마 시스템을 사용하여 워크피스 상의 도전층의 표면을 전해연마하는 방법에 있어서,  
복수의 전해연마 셀을 상기 도전층의 표면에 근접하여 배치시키는 단계 - 여기서, 각 셀은, 상기 도전층의 표면과 접촉하여 도전성 용액과 통신하는 접촉 전극 및 처리 영역을 한정하기 위해서 상기 도전층의 표면의 일부와 상기 도전성 용액의 통신을 가능하게 하기 위한 개구부를 가짐 - ;  
처리 전극을 상기 도전성 용액과 접촉시키는 단계; 및  
상기 처리 영역들에 의해 한정된 상기 도전층의 표면을 전해연마하기 위해서, 상기 복수의 전해연마 셀의 접촉 전극들과 상기 처리 전극 사이에 전위차를 인가하는 단계  
를 포함하는 방법.

**청구항 41.**

제40항에 있어서,  
상기 워크피스를 전해연마하기 위해서, 상기 복수의 전해연마 셀에 대하여 상기 도전층의 표면을 이동시키는 단계  
를 더 포함하는 방법.

**청구항 42.**

제40항 또는 제41항에 있어서,

제1 처리 영역을 한정하기 위한 전해연마 셀들의 제1 세트를 갖는 제1 전해연마 구역 및 제2 처리 영역을 한정하기 위한 전해연마 셀들의 제2 세트를 갖는 제2 전해연마 구역을 더 포함하고,

상기 전위차를 인가하는 단계는,

상기 제1 처리 영역을 전해연마하기 위해서, 상기 전해연마 셀들의 제1 세트의 접촉 전극과 상기 처리 전극 사이에 상기 전위차를 인가하는 단계; 및

상기 제2 처리 영역을 전해연마하기 위해서, 상기 전해연마 셀들의 제2 세트의 접촉 전극과 상기 처리 전극 사이에 상기 전위차를 인가하는 단계를 포함하는

방법.

### 청구항 43.

제42항에 있어서,

구역 스위치를 더 포함하고,

상기 제1 처리 영역을 전해연마하기 위해서, 상기 전해연마 셀들의 제1 세트를 선택하는 단계; 및

상기 제2 처리 영역을 전해연마하기 위해서, 상기 전해연마 셀들의 제2 세트를 선택하는 단계

를 더 포함하는 방법.

### 청구항 44.

제42항 또는 제43항에 있어서,

상기 전해연마 셀들의 제1 세트에 인가된 전위차는 상기 전해연마 셀들의 제2 세트에 인가된 전위차와 상이한

방법.

### 청구항 45.

제40항 내지 제44항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전위차는 DC 전압인

방법.

### 청구항 46.

제40항 내지 제44항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 전위차는 가변 전압인

방법.

**청구항 47.**

제40항 내지 제46항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 처리 전극은 복수의 처리 전극을 포함하고, 각 처리 전극은 상기 도전성 용액과 통신하는 상기 복수의 전해연마 셀의 각 개구부 내에 배치되며, 상기 전위차를 인가하는 단계는 상기 복수의 접촉 전극과 상기 복수의 처리 전극 사이에 상기 전위차를 인가하는 것을 포함하는

방법.

**청구항 48.**

제47항에 있어서,

상기 각 처리 전극은 실질적으로 상기 각 개구부를 점유하는

방법.

**청구항 49.**

제40항 내지 제48항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수의 전해연마 셀과 상기 도전층의 표면 사이에 배치된 패드를 더 포함하고,

상기 패드로 상기 도전층의 표면을 평탄화하는 단계

를 더 포함하는 방법.

**청구항 50.**

제49항에 있어서,

상기 패드는 연마재인

방법.

**청구항 51.**

제40항 내지 제50항 중 어느 한 항의 방법에 의해 제조된 집적 회로.

**청구항 52.**

워크피스 상의 도전층의 표면을 전해연마하기 위한 시스템에 있어서,

복수의 전해연마 셀 - 여기서, 각 전해연마 셀은: 접촉 용액, 상기 접촉 용액 내에 잠입되는 접촉 전극을 포함하고, 상기 접촉 용액이 상기 도전층의 표면의 일부와 통신하는 개구부를 갖는 접촉 유닛을 포함함 - ; 및

처리 용액 내의, 처리 영역을 한정하기 위해서 상기 처리 용액이 상기 도전층의 표면의 일부와 통신하는 개구부를 갖는 처리 전극

을 포함하고,

여기서, 상기 접촉 전극과 상기 처리 전극 사이에 인가된 전위차는 상기 도전층의 표면의 상기 처리 영역을 전해연마하는 시스템.

### 청구항 53.

제52항에 있어서,

상기 워크피스 상의 상기 도전층의 표면을 전해연마하기 위해서, 상기 복수의 전해연마 셀과 상기 도전층의 표면 사이에 상대 운동을 생성하기 위한 메커니즘

을 더 포함하는 시스템.

### 청구항 54.

제53항에 있어서,

상기 복수의 전해연마 셀을 유지하도록 구성된 홀더 구조

를 더 포함하는 시스템.

### 청구항 55.

제54항에 있어서,

상기 홀더 구조는, 상기 도전층의 표면을 평탄화하기 위해서 상기 도전층의 표면과 접촉하도록 구성된 상부 표면을 갖는 패드를 포함하는

시스템.

### 청구항 56.

제52항 내지 제55항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 접촉 전극들은 상기 도전층의 표면에 근접하는

시스템.

**청구항 57.**

제52항 내지 제56항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 처리 전극들은 상기 도전층의 표면에 근접하는  
시스템.

**청구항 58.**

제52항 내지 제57항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 접촉 용액 및 상기 처리 용액은 동일한 도전성 용액인  
시스템.

**청구항 59.**

제52항 내지 제58항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 접촉 전극은 실질적으로 상기 접촉 유닛을 점유하는  
시스템.

**청구항 60.**

제52항 내지 제59항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 처리 전극은 실질적으로 상기 처리 유닛을 점유하는  
시스템.

**청구항 61.**

제52항 내지 제60항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 접촉 전극 및 상기 처리 전극은 상기 도전층의 표면에 근접하고, 상기 접촉 용액 및 상기 처리 용액은 동일한 도전성  
용액인  
시스템.

**청구항 62.**

제52항 내지 제61항 중 어느 한 항에 있어서,  
상기 인가된 전위차는 DC 전압인

시스템.

청구항 63.

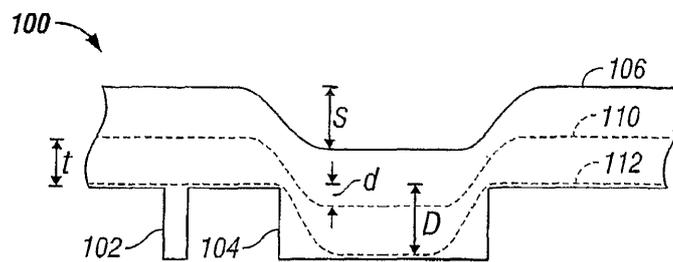
제52항 내지 제61항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 인가된 전위차는 가변 전압인

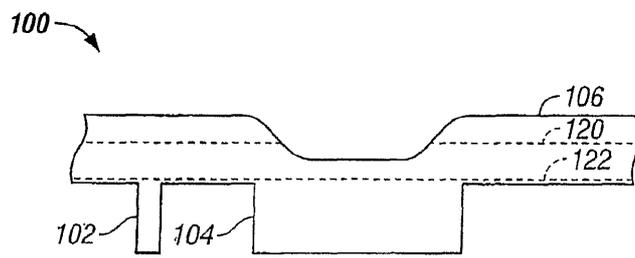
시스템.

도면

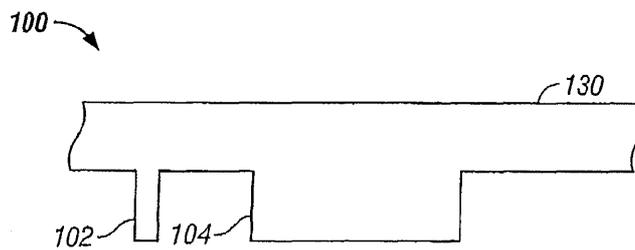
도면1a



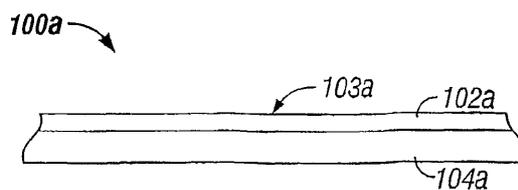
도면1b



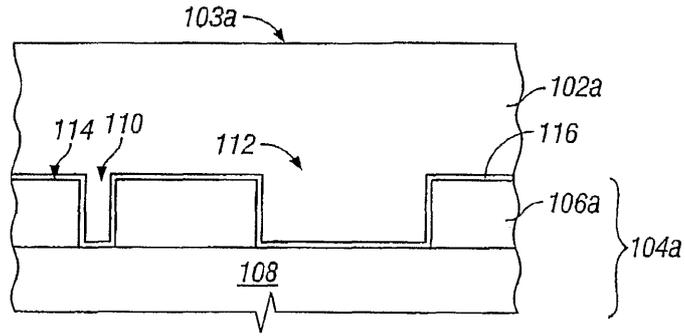
도면1c



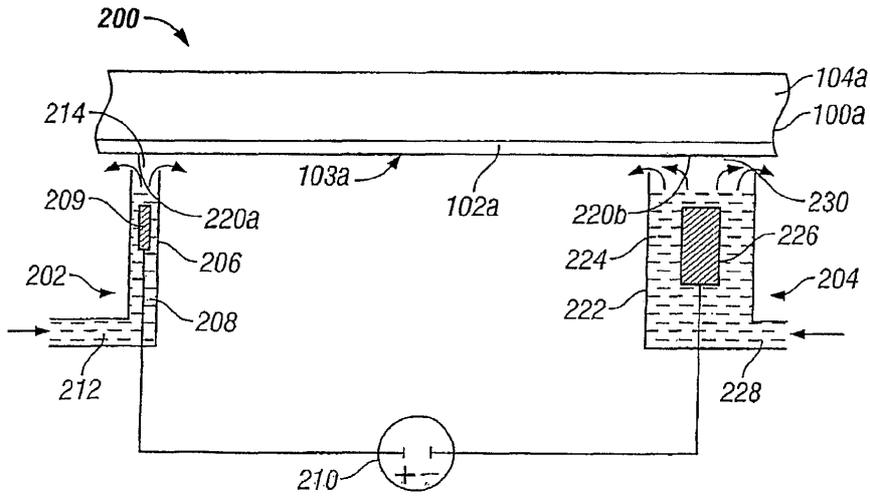
도면2a



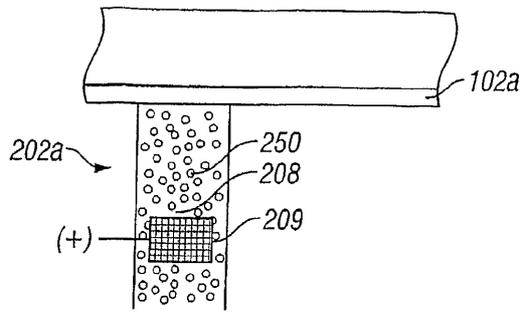
도면2b



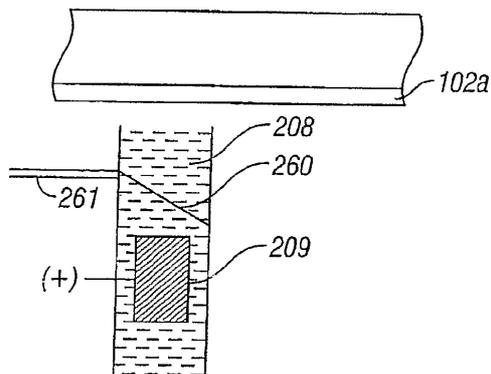
도면3a



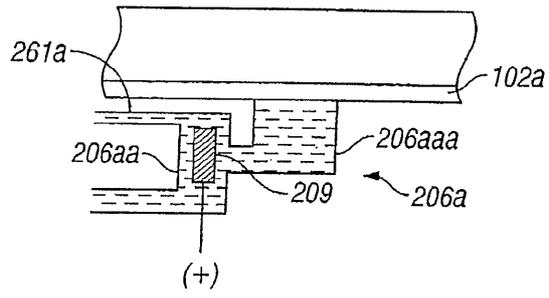
도면3b



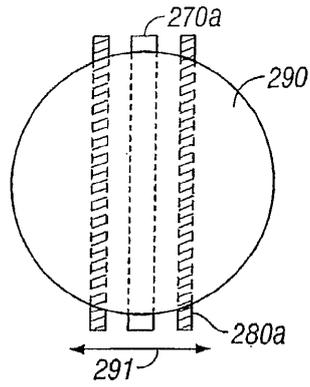
도면3c



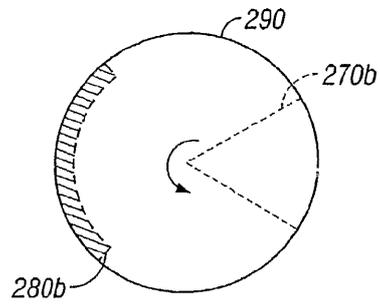
도면3d



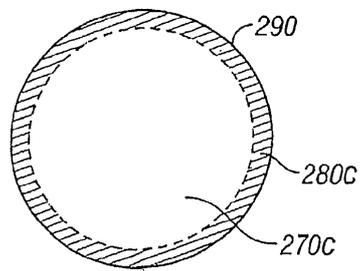
도면3e



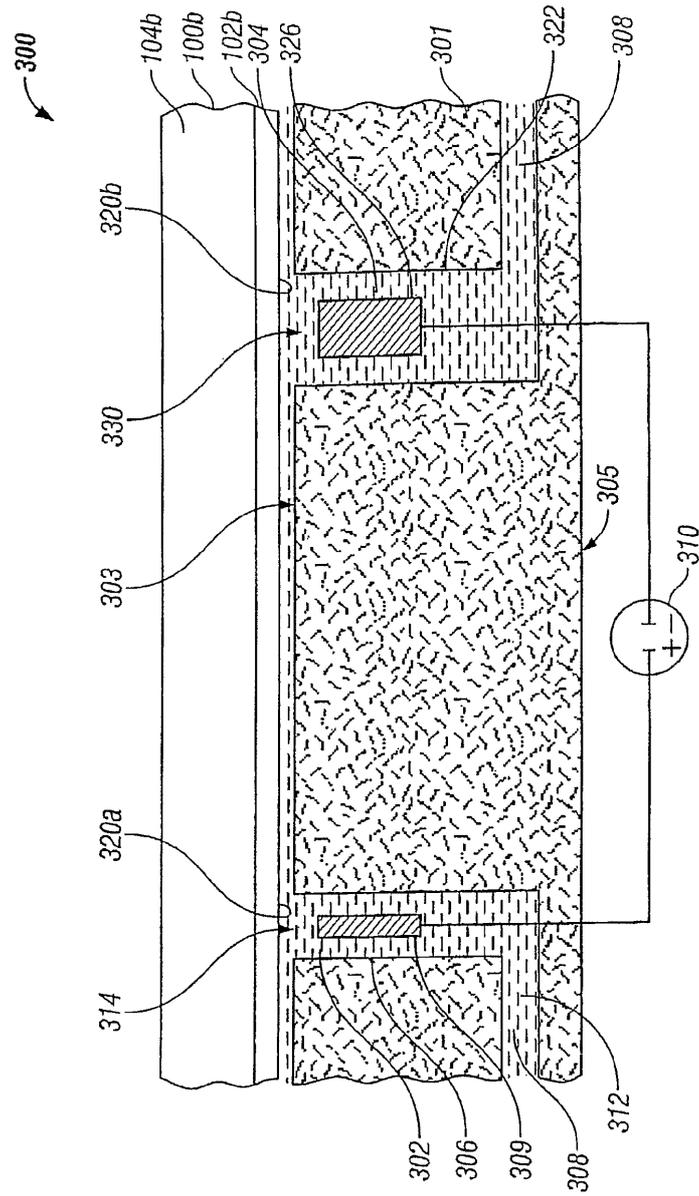
도면3f



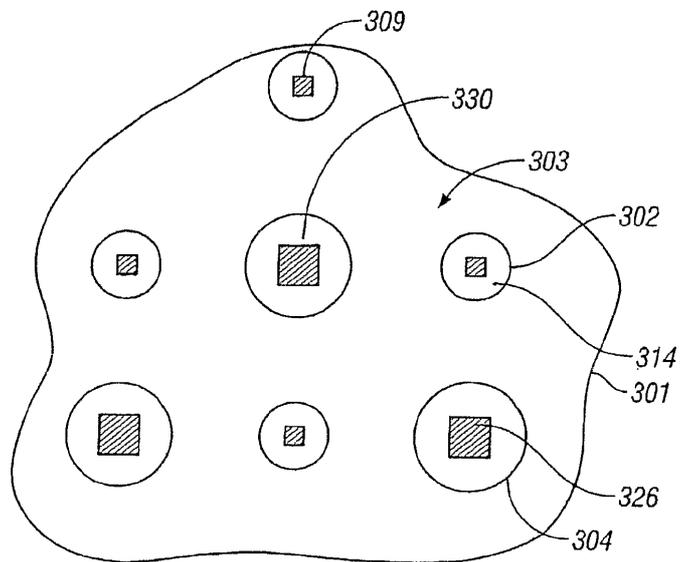
도면3g



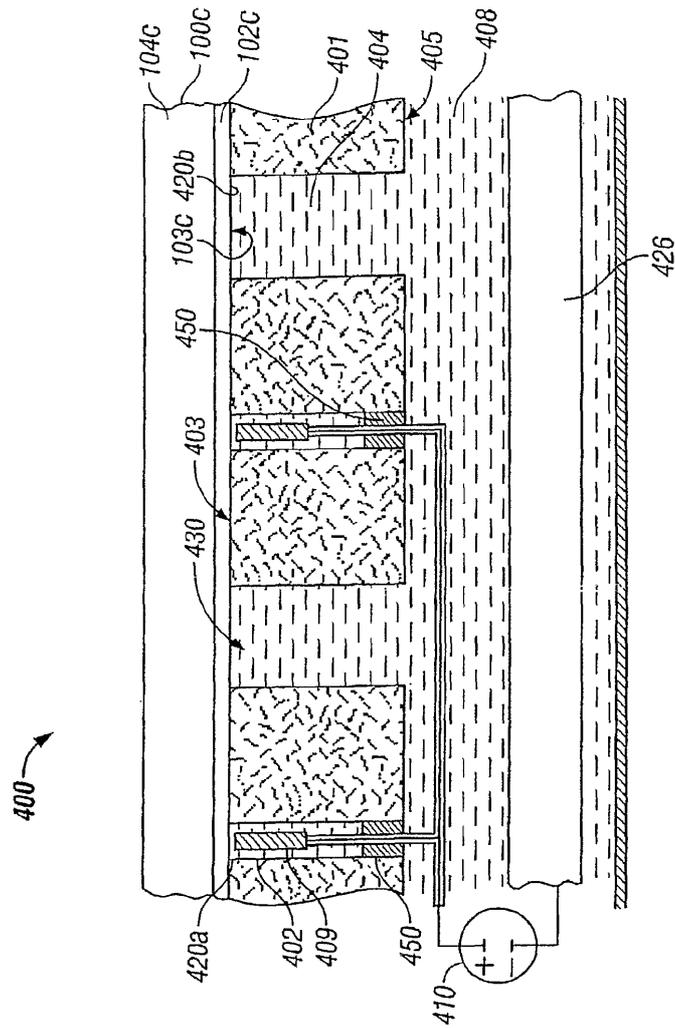
도면4a



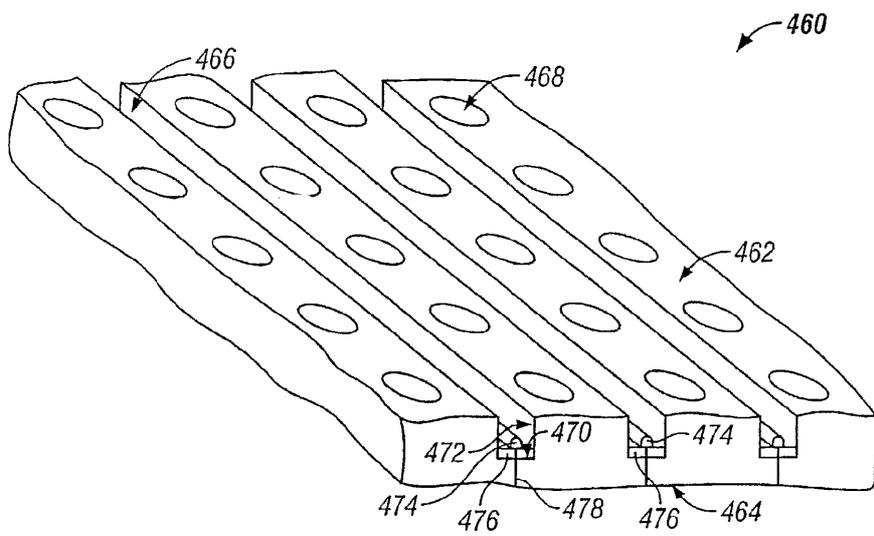
도면4b



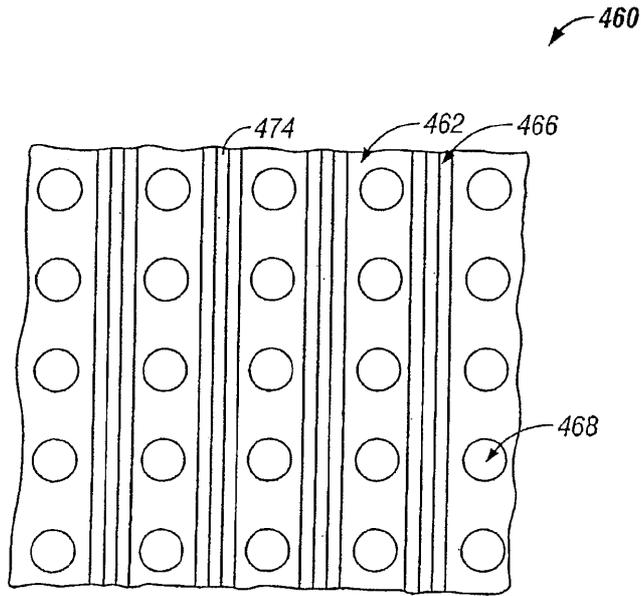
도면5



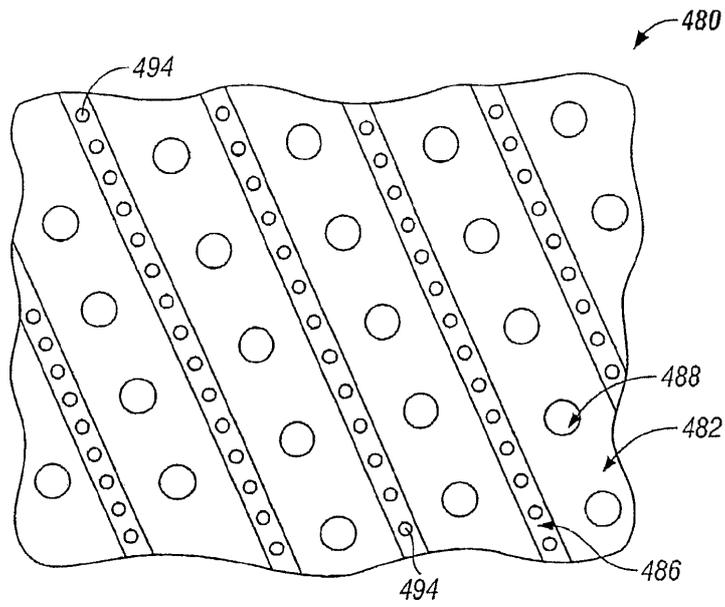
도면6a



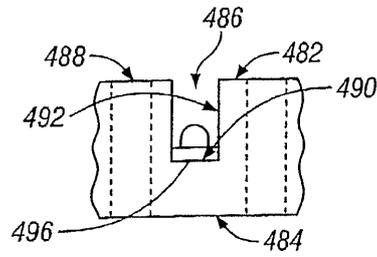
도면6b



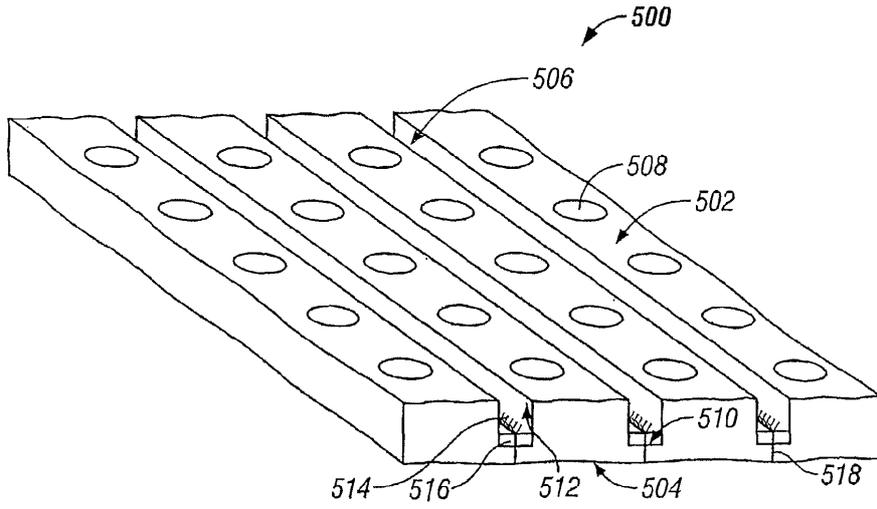
도면7a



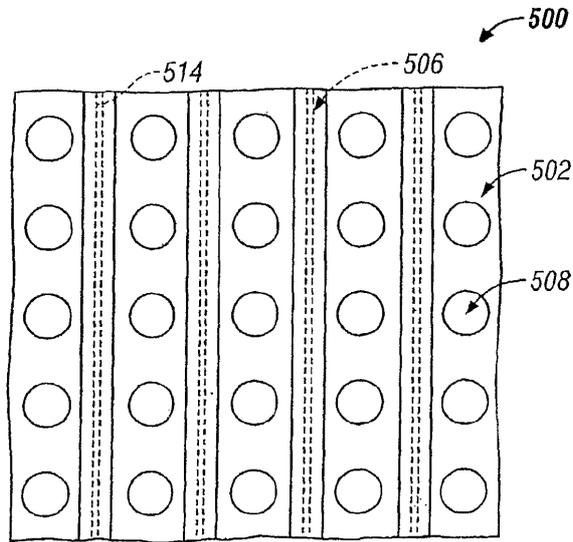
도면7b



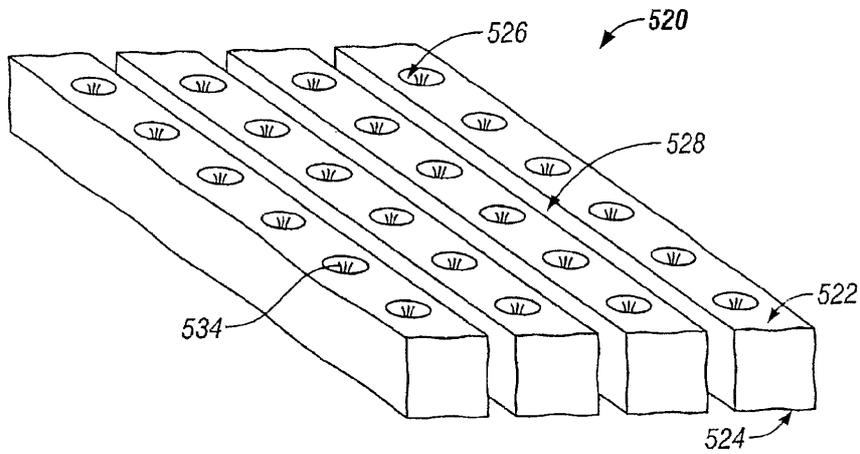
도면8a



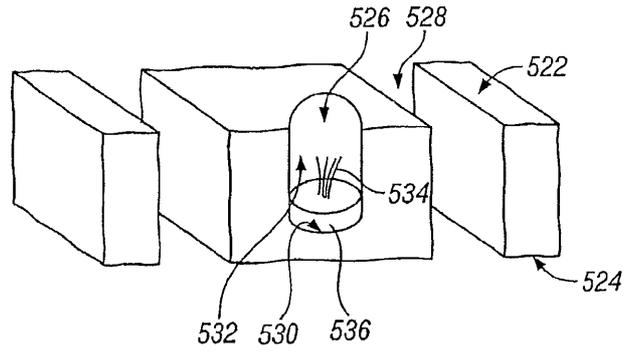
도면8b



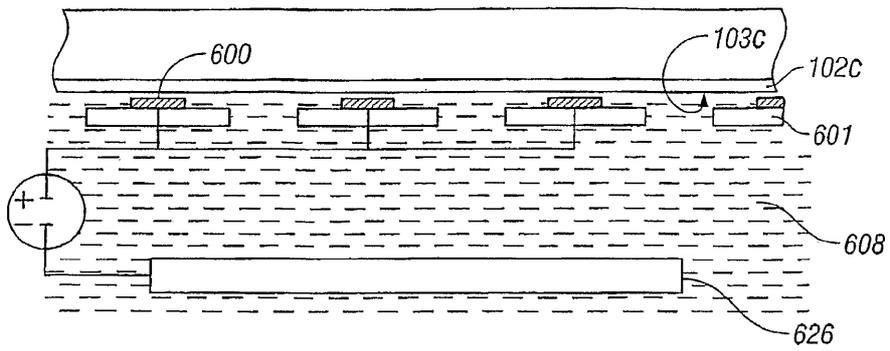
도면9a



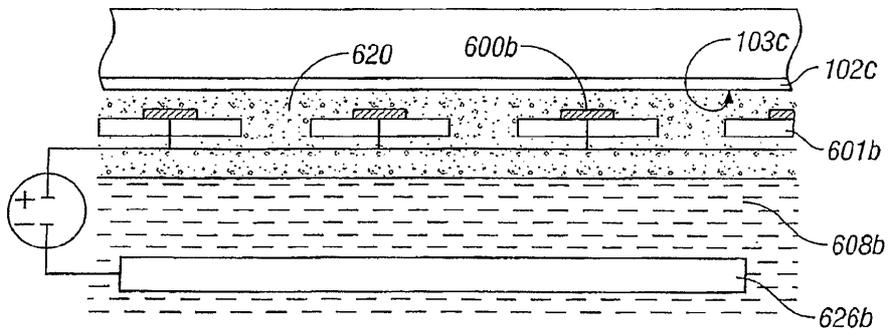
도면9b



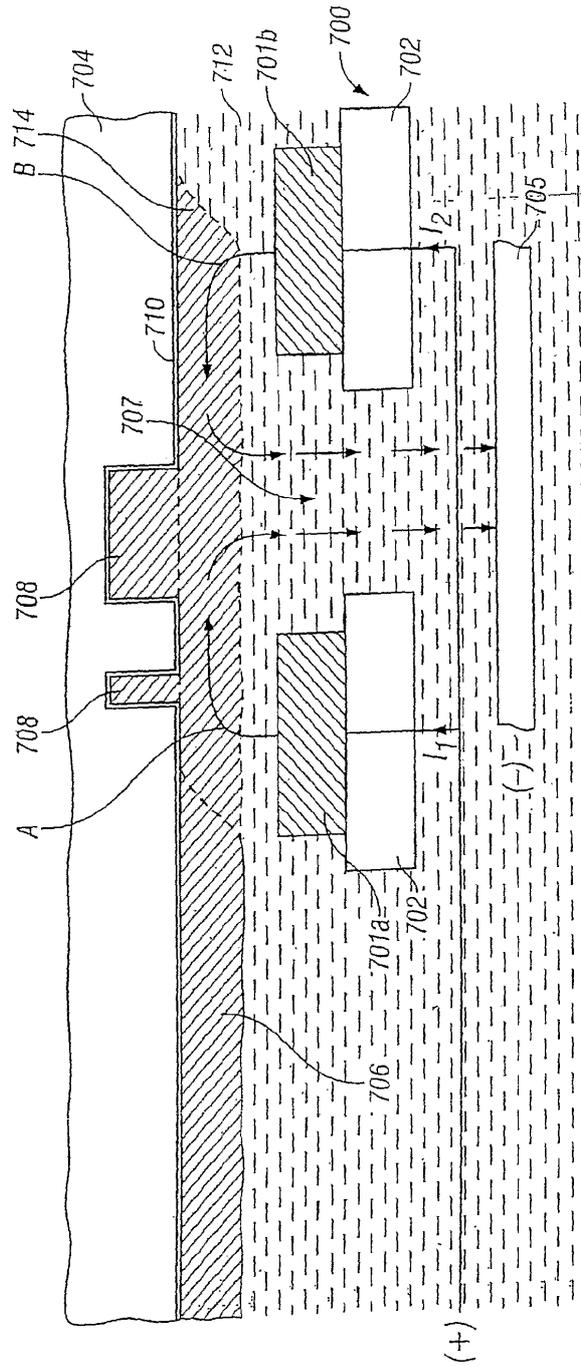
도면10a



도면10b



도면11a



도면11b

