



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. H01L 21/304 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2007년05월02일 10-0713209 2007년04월24일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자 심사청구일자 (62) 원출원	10-2007-0012374(분할) 2007년02월06일 2007년02월06일 특허10-2006-0006590 원출원일자 : 2006년01월21일	(65) 공개번호 (43) 공개일자 심사청구일자	2006년01월21일
--	---	----------------------------------	-------------

(73) 특허권자	서강대학교산학협력단 서울 마포구 신수동 1-1 서강대학교
(72) 발명자	한갑수 경기 용인시 풍덕천2동 상록6단지아파트 614동 1302호 유기풍 서울 마포구 연남동 코오롱하늘채아파트 103동 1002호 임종성 서울 중구 신당4동 약수하이츠아파트 111-1706 권영훈 서울 송파구 풍납2동 508번지 한강극동아파트 102-1506
(74) 대리인	리엔목특허법인

(56) 선행기술조사문헌 한국공개특허공보 1994-0022733	한국공개특허공보 1998-081033
--	----------------------

심사관 : 이상민

전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 세정장치에 사용되는 고압세정기

(57) 요약

본 발명은 공정이 간소화되고 소요시간이 단축되면서도 효과가 우수한 세정장치에 사용되는 고압세정기를 위하여, (i) 세정될 웨이퍼가 장착될, 돌출부를 구비하는 웨이퍼 장착기, (ii) 혼합물 등이 하측으로 주입될 수 있도록 하는 주입구와, 상기 웨이퍼 장착기의 돌출부가 삽입되어 상기 웨이퍼 장착기가 고정될 수 있도록 하는 웨이퍼 장착기 고정부와, 측면으로부터 슬라이딩되어 들어오는 공압실린더가 삽입될 수 있는 공압실린더 삽입부를 갖는 상부요소, (iii) 상기 상부요소를 상하로 이동시키는 승하강 공압실린더, (iv) 측면으로부터 슬라이딩되어 들어오는 공압실린더가 삽입될 수 있는 공압실린더 삽입부와, 혼합물 등이 배출될 수 있는 배출구를 가지며, 상기 상부요소와의 사이에 상기 웨이퍼 장착기가 배치될 수 있는 공

간을 형성하는 하부요소, (v) 상기 상부요소가 하강하여 상기 하부요소와 맞물리면 상기 상부요소의 공압실린더 삽입부와 상기 하부요소의 공압실린더 삽입부 내로 슬라이딩되어 상기 상부요소와 상기 하부요소를 결합시키는 부착형 공압실린더를 구비하는 것을 특징으로 하는 고압세정기를 제공한다.

대표도

도 3

특허청구의 범위

청구항 1.

세정될 웨이퍼가 장착될, 돌출부를 구비하는 웨이퍼 장착기;

혼합물 등이 하측으로 주입될 수 있도록 하는 주입구와, 상기 웨이퍼 장착기의 돌출부가 삽입되어 상기 웨이퍼 장착기가 고정될 수 있도록 하는 웨이퍼 장착기 고정부와, 측면으로부터 슬라이딩되어 들어오는 공압실린더가 삽입될 수 있는 공압실린더 삽입부를 갖는 상부요소;

상기 상부요소를 상하로 이동시키는 승하강 공압실린더;

측면으로부터 슬라이딩되어 들어오는 공압실린더가 삽입될 수 있는 공압실린더 삽입부와, 혼합물 등이 배출될 수 있는 배출구를 가지며, 상기 상부요소와의 사이에 상기 웨이퍼 장착기가 배치될 수 있는 공간을 형성하는 하부요소;

상기 상부요소가 하강하여 상기 하부요소와 맞물리면 상기 상부요소의 공압실린더 삽입부와 상기 하부요소의 공압실린더 삽입부 내로 슬라이딩되어 상기 상부요소와 상기 하부요소를 결합시키는 부착형 공압실린더;를 구비하는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

청구항 2.

제 1항에 있어서,

상기 상부요소의 상기 하부요소 방향의 면의 가장자리와 상기 하부요소의 상기 상부요소 방향의 면의 가장자리 사이에는 상기 상부요소와 상기 하부요소 사이의 공간을 외부로부터 밀봉시키는 밀봉재가 더 구비되는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

청구항 3.

제 2항에 있어서,

상기 상부요소의 상기 하부요소 방향의 면의 가장자리에는 제 1 절곡부가 구비되고, 상기 하부요소의 상기 상부요소 방향의 면의 가장자리에는 제 2 절곡부가 구비되며, 상기 제 1 절곡부와 상기 제 2 절곡부에는 각각 제 1 밀봉재와 제 2 밀봉재가 구비되는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

청구항 4.

제 1항에 있어서,

상기 웨이퍼 장착기의 상기 상부요소 방향의 면 상에는 웨이퍼 장착기의 둘레방향으로 홈이 형성되어 있으며, 상기 웨이퍼 장착기의 둘레방향으로 상기 홈을 따라 복수개의 스프레이 출구들이 구비되는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

청구항 5.

제 4항에 있어서,

상기 상부요소에 구비된 주입구는 상기 상부요소에 구비된 주입구를 통해 주입된 물질이 상기 웨이퍼 장착기의 홈 방향으로 주입되도록 구비되어 있는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

청구항 6.

제 1항에 있어서,

상기 상부요소는 상부요소 가이드핀을 더 구비하고, 상기 하부요소는 상기 상부요소 가이드핀이 삽입되는 가이드핀 삽입부를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

청구항 7.

제 1항에 있어서,

상기 주입구와 상기 배출구는 상호 반대방향에 구비되는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

청구항 8.

제 1항에 있어서,

상기 고압세정기의 온도를 제어하기 위한 가열원 또는 냉각원을 더 구비하는 것을 특징으로 하는 고압세정기.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 세정장치 및 이에 사용되는 고압세정기에 관한 것으로서, 더 상세하게는 공정이 간소화되고 소요시간이 단축되면서도 효과가 우수한 세정장치 및 이에 사용되는 고압세정기에 관한 것이다.

반도체 웨이퍼 제조공정 중에는 반도체 기판 상에 포토리지스트(PR: photoresist)층을 형성하고 소정의 공정을 거친 후 이를 제거하여야 하는 데, 이 제거하는 단계를 세정단계라 한다. 이와 같은 세정단계는 프런트-엔드-오프-더-라인(FEOL: front end of the line), 백-엔드-오프-더-라인(BEOL: back end of the line) 또는 이온 주입(ion implantation) 등과 같은 웨이퍼 제조공정의 다양한 단계 이후에 수행될 수 있는데, 세정단계는 초미세 패턴의 기판표면으로부터 포토리지스트 또는 포토리지스트 잔류물 등과 같은 오염물을 제거하는 단계이다. 이를 위해 물 및 여러 가지 용매를 사용하는 습식 세정공정과 초임계 상태의 이산화탄소를 사용하는 건식 세정공정이 개발되고 있다.

RCA 방식을 비롯하여 널리 사용되고 있는 종래의 습식 세정방법은 목적에 따라 세정을 적합하게 수행할 수 있는 장점이 있지만, 초대규모 집적회로(ULSI)의 제조에 이용하기에 적합하지 않은 많은 문제점을 가지고 있었다. 예컨대 습식 세정은 높은 종횡비(high aspect ratio)의 미세 구조 속으로 세정액의 젖음성(wettability)이 부족하고, 반복되는 행균과 건조 공정을 거치게 됨에 따라 파티클 발생에 취약하다는 문제점이 있었다. 또한, 액상의 화학 액으로부터 역 오염되는 금속 오염

문제, 물 반점(water mark) 및 부식문제, 초순수 정제와 화학약품의 고순도 정제를 위해 소요되는 비용상의 문제 등이 있다. 그리고 장비의 점유면적이 크고 공정이 복잡하여 다른 공정장비와의 클러스터(cluster)화가 용이하지 않다는 문제점이 있었으며, 폐수 및 폐액에 의한 환경오염문제와 이로 인한 폐수처리 비용 증대의 문제점 등이 있었다.

또한, 종래의 RCA 세정을 이용할 경우 다량의 화학용제를 사용하기 때문에 웨이퍼 등에 손상(damage)이 발생한다는 문제점 및 제거되어야 할 포토리지스트 등이 완전히 제거되지 않는다는 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위하여 새로운 용제의 개발이 이루어지고 있으나, 종래의 습식 세정공정은 세정액의 분자구조의 특성상 65nm 이하의 초미세구조로는 침투가 어려우며, 특히 고성능의 차세대 미세패턴의 반도체 제조를 위한 구리 금속과 low-K 절연막 재료의 세정에 용이하지 않다는 문제점이 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 플라즈마, 가스 상 또는 초임계 건식세정 기술의 개발이 요구되고 있는 실정이다. 그러나 건식세정으로 사용되고 있는 산소 플라즈마 애싱(oxygen plasma ashing) 방법으로 포토리지스트를 제거할 경우, 웨이퍼 등이 산소 플라즈마에 의해 손상되고 오염되며, 오염물의 잔존으로 인하여 추가적인 습식세정이 요구된다는 문제점이 있었다. 또한, 최근 개발된 오존의 산화작용을 이용한 세정은 습식방법이나 플라즈마 건식세정과 같은 손상은 없으나, 오존발생으로 인한 환경오염 등의 문제점이 있었다.

한편, 반도체 제조공정 중 건식식각 또는 습식식각, 애싱 또는 이온 주입 등의 공정을 거침에 따라 포토리지스트 등이 웨이퍼 상에 잔존하게 된다. 따라서 종래에는 이의 제거를 위하여 부분건식과정과 습식과정, 즉 애싱과 유기 스트립공정의 두 단계를 거쳐 웨이퍼를 처리함에 따라, 공정의 수가 증가하고 자원을 낭비할 뿐만 아니라 폐수처리 등에 막대한 비용이 소요된다는 문제점이 있었다.

또한, 상기와 같이 습식세정이 수반되는 경우에는 스핀건조, IPA 증기건조, 마랑고니(Marangoni)건조 등과 같은 별도의 건조공정이 필요한 바, 이와 같은 건조방식들은 물반점을 남기고 응력을 유발하며 정전기력에 의한 재오염 가능성이 높다는 문제점이 있었다. 특히, IPA 증기건조의 경우는 IPA 기화를 위한 고온(200℃ 이상)을 유지해야만 하며 IPA 사용량이 많다는 문제점이 있었다.

한편, 초임계 상태의 이산화탄소와 여러 가지 공용매를 혼합하여 사용하는 초임계 공정을 이용한 반도체 웨이퍼 세정방법이 소개된 바 있다. 그러나 초임계 상태의 비극성 이산화탄소에 단순히 극성 공용매를 혼합하여 균질의 투명상을 형성하지 못함으로써 종래의 습식세정의 문제점을 해결하지 못하고 세정효율이 낮으며, 균질 투명상 초임계 상태를 형성한다고 하더라도 100℃ 이상의 초고온과 300bar 이상의 초고압을 필요로 함에 따라 고비용이 소요되는 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위해 계면활성제를 도입하는 경우에도 초임계 상태의 균질 투명상을 형성하기 위해서는 별도의 믹서(mixer) 또는 초음파 장치 등이 필요하고 시간도 오래 걸리는 문제점이 있었다.

또한, 반도체 제조를 위해서는 99.99%이상의 고순도 이산화탄소를 사용하는데, 종래에는 사용된 이산화탄소를 정제하고 회수하여 순환 사용하기 위한 효율적인 정제 공정을 구현하지 못한다는 문제점이 있었다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 공정이 간소화되고 소요시간이 단축되면서도 효과가 우수한 세정장치 및 이에 사용되는 고압세정기를 제공하는 것을 목적으로 한다.

발명의 구성

본 발명은 (i) 세정될 웨이퍼가 장착될, 돌출부를 구비하는 웨이퍼 장착기와, (ii) 혼합물 등이 하측으로 주입될 수 있도록 하는 주입구와, 상기 웨이퍼 장착기의 돌출부가 삽입되어 상기 웨이퍼 장착기가 고정될 수 있도록 하는 웨이퍼 장착기 고정부와, 측면으로부터 슬라이딩되어 들어오는 공압실린더가 삽입될 수 있는 공압실린더 삽입부를 갖는 상부요소와, (iii) 상기 상부요소를 상하로 이동시키는 승하강 공압실린더와, (iv) 측면으로부터 슬라이딩되어 들어오는 공압실린더가 삽입될 수 있는 공압실린더 삽입부와, 혼합물 등이 배출될 수 있는 배출구를 가지며, 상기 상부요소와의 사이에 상기 웨이퍼 장착기가 배치될 수 있는 공간을 형성하는 하부요소와, (v) 상기 상부요소가 하강하여 상기 하부요소와 맞물리면 상기 상부요소의 공압실린더 삽입부와 상기 하부요소의 공압실린더 삽입부 내로 슬라이딩되어 상기 상부요소와 상기 하부요소를 결합시키는 부착형 공압실린더를 구비하는 것을 특징으로 하는 고압세정기를 제공한다.

이러한 본 발명의 다른 특징에 의하면, 상기 상부요소의 상기 하부요소 방향의 면의 가장자리와 상기 하부요소의 상기 상부요소 방향의 면의 가장자리 사이에는 상기 상부요소와 상기 하부요소 사이의 공간을 외부로부터 밀봉시키는 밀봉재가 더 구비되는 것으로 할 수 있다.

본 발명의 또 다른 특징에 의하면, 상기 상부요소의 상기 하부요소 방향의 면의 가장자리에는 제 1 절곡부가 구비되고, 상기 하부요소의 상기 상부요소 방향의 면의 가장자리에는 제 2 절곡부가 구비되며, 상기 제 1 절곡부와 상기 제 2 절곡부에는 각각 제 1 밀봉재와 제 2 밀봉재가 구비되는 것으로 할 수 있다.

본 발명의 또 다른 특징에 의하면, 상기 웨이퍼 장착기의 상기 상부요소 방향의 면 상에는 웨이퍼 장착기의 둘레방향으로 홈이 형성되어 있으며, 상기 웨이퍼 장착기의 둘레방향으로 상기 홈을 따라 복수개의 스프레이 출구들이 구비되는 것으로 할 수 있다.

본 발명의 또 다른 특징에 의하면, 상기 상부요소에 구비된 주입구는 상기 상부요소에 구비된 주입구를 통해 주입된 물질이 상기 웨이퍼 장착기의 홈 방향으로 주입되도록 구비되어 있는 것으로 할 수 있다.

본 발명의 또 다른 특징에 의하면, 상기 상부요소는 상부요소 가이드핀을 더 구비하고, 상기 하부요소는 상기 상부요소 가이드핀이 삽입되는 가이드핀 삽입부를 더 구비하는 것으로 할 수 있다.

본 발명의 또 다른 특징에 의하면, 상기 주입구와 상기 배출구는 상호 반대방향에 구비되는 것으로 할 수 있다.

본 발명의 또 다른 특징에 의하면, 상기 고압세정기의 온도를 제어하기 위한 가열원 또는 냉각원을 더 구비하는 것으로 할 수 있다.

이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.

이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명하면 다음과 같다.

도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정에 사용되는 세정장치를 개략적으로 도시하는 구성도이다.

도 1에 도시된 바와 같이 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정에 사용되는 세정장치는 고압세정기(60)와, 고압세정기(60)에 연결되는 기체 이산화탄소 공급원(20) 및 액체 이산화탄소 공급원(21)과, 이산화탄소를 고압으로 송출하기 위한 고압펌프(24)와, 세정용 첨가제를 공급하는 세정용 첨가제 공급원(25)과 행굼용 첨가제를 공급하는 행굼용 첨가제 공급원(26)과, 이산화탄소 및 첨가제를 가열하기 위하여 공급관(L2, L3, L4) 상에 설치되는 가열기(31, 32, 33)와, 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 형성하면서 일정량의 세정용 첨가제를 공급하기 위한 균질 투명상 혼합기(70)와, 고압세정기(60)에 연결되어 일정한 압력을 유지하기 위한 압력조절밸브(54)와, 고압세정기(60)에 연결되어 고압세정기(60)로부터 배출되는 혼합물을 기체상의 이산화탄소 및 액체상의 첨가제로 분리하는 분리기(61)와, 분리된 기체상의 이산화탄소를 정제하기 위한 기체 세정컬럼(63) 및 흡착컬럼(64)과, 정제된 기체를 응축하고 재사용하기 위한 이산화탄소 응축용기(23)와, 열매체 및 냉매 공급기와, 온-오프 자동밸브(1 내지 12)를 구비한다.

여기서 초임계 상태(supercritical state)란 임계 온도와 임계 압력 이상에서의 상태를 의미하는 것으로, 초임계 상태의 유체(supercritical fluid)의 물성은 통상적인 상태의 유체의 물성과 매우 상이하다. 즉, 초임계 상태에서는 유체의 밀도, 점도, 용해도, 열용량 또는 유전상수 등과 같은 유체의 물성이 급격하게 변하게 된다. 이러한 초임계 상태는 임계 온도와 임계 압력 이상에서의 상태인 바, 여기서 임계 온도라 함은 압력을 높여도 기체가 액체로 액화되지 않는 온도를 말하고, 임계 압력이라 함은 온도를 높여도 액체가 기체로 기화되지 않는 압력을 말한다. 예컨대 이산화탄소의 경우 임계 온도는 대략 31.06℃, 임계 압력은 대략 73.8bar로 알려져 있다. 이러한 초임계 상태의 유체는 기체 상태와 액체 상태를 구별할 수 없는 유체이다. 초임계 상태의 유체는 액체와 유사한 특성을 가져 용해력이 크며, 또한 기체와 유사한 특성도 가져 점도가 낮고 확산속도가 크며 표면장력이 작아 미세구조에도 용이하게 침투할 수 있다.

기체 이산화탄소 공급원(20) 또는 액체 이산화탄소 공급원(21)은 이산화탄소를 공급하기 위한 공급관(L1, L2)을 통하여 고압세정기(60)에 연결된다. 세정용 첨가제 공급원(25)과 행굼용 첨가제 공급원(26)은 공급관(L3)에 함께 연결되어 세정용 첨가제 공급펌프(27)와 행굼용 첨가제 공급펌프(28)를 통해 세정용 첨가제와 행굼용 첨가제를 균질 투명상 혼합기(70)에 공급한다. 그리고 고압세정기(60)에 연결된 균질 투명상 혼합기(70)는, 대기압 또는 저압상태의 세정용 첨가제와 초임

계 이산화탄소를 큰 압력차에 의한 혼합효과를 이용하여 일시에 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 형성한다. 또한, 균질 투명상 혼합기(70)는 행굼용 첨가제와 초임계 이산화탄소를 혼합하여 초임계 상태의 행굼 혼합물을 형성하기도 한다. 이에 대하여는 후술한다.

물론 도 2에 도시된 본 발명의 바람직한 다른 일 실시예에 따른 세정공정에 사용되는 세정장치의 개략적 구성도에 도시된 바와 같이, 순환관(L8)과 순환펌프(29)를 더 구비할 수도 있다. 순환관(L8)과 순환펌프(29)는 균질 투명상 혼합기(70)와 연결되어, 공급된 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 고압세정기(60)의 외부 순환류 형성에 의해 안정되도록 유지하며, 혼합효과와 열교환 효과를 높이는 역할을 한다.

상기와 같은 세정 장치를 이용하여 이루어지는 세정공정을 상세히 설명하면 다음과 같다.

먼저 고압세정기(60) 내에 웨이퍼가 장착된다. 고압세정기(60) 내에 웨이퍼가 장착되는 구체적인 방법 등은 후술한다.

고압세정기(60) 내에 웨이퍼가 장착되면, 일차적으로 압력 조절기(52, 53)에 의해 저압(20psig 이하)의 고순도(99.99% 이상) 기체 이산화탄소가 기체 이산화탄소 공급원(20)으로부터 해당 온-오프 자동 밸브(3, 4) 및 공급관(L1)을 통해 고압세정기(60) 내로 유입된다. 이는 고압세정기(60) 내부의 미세 오염물을 제거하는 역할을 한다. 고압세정기(60)가 밀폐되면 (이에 대해서는 후술한다), 고압(약 30bar 내지 50bar)의 고순도 기체 이산화탄소가 유입되는데, 이는 이후 이루어질 혼합 유체의 유입을 원활하게 하는 역할을 한다.

한편, 세정용 첨가제와 초임계 세정압력(고압세정기에서 세정시의 압력으로 바람직하게는 대략 120bar 내지 300bar)보다 높은 압력의 초임계 상태의 이산화탄소가 균질 투명상 혼합기(70)기에 유입된다. 이에 대해서는 후술한다. 초임계 상태의 이산화탄소는 이산화탄소 응축기(23)로부터 공급되는데, 이는 공급관(L2) 상의 온-오프 자동밸브(1, 2, 5, 8)의 개폐와 이산화탄소 공급을 위한 고압펌프(24)를 통해 자동으로 공급된다. 물론 균질 투명상 혼합기(70)에 이르기 전 가열기(31)에 의해 가열되어 초임계 상태의 이산화탄소가 되도록 할 수도 있다.

초임계 상태의 이산화탄소는 기체 세정컬럼(63)과 흡착컬럼(64)으로부터 공급되는 기체 이산화탄소가 이산화탄소 응축기(23)에서 냉매에 의해 응축된 것이다. 이때, 최초의 액체 이산화탄소 및 공정 상에서 소모된 이산화탄소는 액체 이산화탄소 보충밸브(51)를 통해 액체 이산화탄소 공급원(21)으로부터 공급된다.

이러한 초임계 상태의 이산화탄소는 세정용 첨가제와 혼합되어 세정 단계에 이용되는, 즉 밀폐된 고압세정기(60)내로 유입되는 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 된다. 또한, 초임계 상태의 이산화탄소는 행굼용 첨가제와 혼합되어 행굼 단계에 이용되는, 즉 밀폐된 고압세정기(60) 내로 유입되는 초임계 상태의 행굼 혼합물이 된다.

첨가제는 공급관 L3과 L4 상의 온-오프 자동밸브(6, 7)와 세정용 첨가제 또는 행굼용 첨가제 공급을 위한 정량 공급펌프(32, 33)를 통해 세정용 첨가제 공급원(25)과 행굼용 첨가제 공급원(26)으로부터 자동 공급된다. 이 경우, 공급되는 이산화탄소와 첨가제는 공급관 L2, L3 및 L4상의 가열기(31, 32, 33) 또는 라인 히터에 의해 소정 온도 또는 소정 범위내의 온도(예컨대 대략 35℃ 내지 100℃)로 가열된다.

세정용 첨가제는 초임계 상태의 이산화탄소와 균질 투명상 혼합기(70)에서 큰 압력차에 의해 순간적으로 혼합되어, 고압 세정기(60)로 유입되어 세정 단계에 이용되는 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 된다. 더욱 상세히 설명하면, 대기압 또는 10bar 이하의 저압상태의 세정용 첨가제를 균질 투명상 혼합기(70)에 공급하고, 그 후 초임계 세정압력보다 높은 압력의 이산화탄소를 균질 투명상 혼합기(70)에 공급함으로써, 큰 압력차에 의한 혼합효과를 이용하여 일시에 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 형성하게 된다.

일반적으로 초임계 상태의 이산화탄소는 비극성이고 세정용 첨가제는 통상적으로 극성이므로 이들을 단순 혼합하여 초임계 상태를 유지하기 위해서는 상술한 바와 같은 조건보다 더 높은 초고압과 초고온이 요구되며, 그에 따라 세정비용이 급격히 상승한다는 문제점이 있었다. 따라서 이를 해결하기 위하여 본 실시예에 따른 세정공정에서는 세정용 첨가제가 계면활성제도 포함하도록 하여, 초고압 및 초고온이 아닌 상술한 바와 같은 조건의 압력 등의 세정 조건 하에서도 용이하게 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 형성되도록 한다. 또한, 균질 투명상 혼합기(70) 내에서 큰 압력차를 이용하여 세정용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소를 혼합함으로써, 별도의 믹서(mixer) 또는 조음과 장치 등을 이용하지 않고도 용이하게 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 단시간에 형성되도록 한다.

이를 위하여 세정용 첨가제는 불소계 계면활성제를 포함하는 것으로 할 수 있다. 이 경우, 불소계 계면활성제로는 탄소수 2 내지 20의 불소계 카르복실산, 평균 분자량이 300 내지 5000인 과불화 에테르계 폴리머 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다.

세정용 첨가제의 구성을 더욱 상세히 설명하자면, 세정용 첨가제는, 불소계 계면활성제 0.01중량% 내지 90중량%과, 지방족 아민 0.01중량% 내지 15중량%과, 극성 유기용매 0.01중량% 내지 15중량%과, 알코올계 용매 0.1중량% 내지 20중량%과, 에테르계 용매 0.1중량% 내지 30중량%과, 부식방지제 0중량% 내지 5중량%과, 물 0중량% 내지 15중량%을 포함하도록 할 수 있다. 이 경우 불소계 계면활성제는 탄소수 2 내지 20의 불소계 카르복실산, 평균 분자량이 300 내지 5000인 과불화 에테르계 폴리머 또는 이들의 혼합물이고, 지방족 아민은 모노에탄올 아민, 2-(2-아미노에톡시)에탄올, 디에탄올 아민, 이미노비스프로필아민, 2-메틸아미노에탄올, 트리에틸아미노에탄올 또는 이들의 혼합물이며, 극성 유기용매는 N,N'-디메틸아세트아미드, 디메틸설폭사이드, 1-메틸-2-피롤리딘은, N,N'-디메틸포름아미드, 암모늄플루오라이드 또는 이들의 혼합물이고, 알코올계 용매는 메탄올, 에탄올, 이소프로판올 또는 이들의 혼합물이며, 에테르계 용매는 에틸렌글리콜 메틸에테르, 에틸렌글리콜 에틸에테르, 에틸렌글리콜 부틸에테르, 디에틸렌글리콜 메틸에테르, 디에틸렌글리콜 에틸에테르, 트리에틸렌글리콜 메틸에테르, 트리에틸렌글리콜 에틸에테르 또는 이들의 혼합물이고, 부식방지제는 카테콜(catechol), 갈릭산(gallic acid) 또는 이들의 혼합물인 것으로 할 수 있다.

물론 이와 상이한 조성의 세정용 첨가제를 이용할 수도 있는데, 예컨대 불소계 계면활성제 0중량% 내지 90중량%과, 반도체 세정용 스트리퍼 0.1중량% 내지 15중량%, 알코올계 용매 0.1중량% 내지 20중량%과, 물 0중량% 내지 15중량%을 포함하는 세정용 첨가제를 이용할 수도 있다. 이 경우 불소계 계면활성제는 탄소수 2 내지 20의 불소계 카르복실산, 평균 분자량이 300 내지 5000인 과불화 에테르계 폴리머 또는 이들의 혼합물이고, 알코올계 용매는 메탄올, 에탄올, 이소프로판올 또는 이들의 혼합물인 것으로 할 수 있다.

한편, 이와 같은 세정용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소가 혼합된 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물에서 세정용 첨가제의 용적은 전체 용적에서 2용적% 내지 30용적%인 것이 바람직하다.

상기와 같은 세정용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소가 혼합되어 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 형성하는 균질 투명상 혼합기(70)는 고압용기로서 고압 실린더 등이 이용될 수 있고, 이때 가열원이 부착되도록 하여 소정 온도 또는 소정 범위 내의 온도로 조절될 수 있으며, 세정에 필요한 세정용 첨가제 요구량의 정량 공급을 가능하게 하고 세정용 첨가제가 초임계 상태의 이산화탄소와 혼합하여 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 형성할 수 있는 최소 공간을 구비한다. 또한, 경우에 따라 혼합효과 및 열교환 효과를 최대화하기 위하여 균질 투명상 혼합기(70)에는 내부 및 외부 순환 장치가 더 구비될 수도 있다.

한편, 이와 같이 형성된 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 고압세정기(60)에 바로 주입하게 되면, 큰 압력차이로 인하여 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 유지되지 않고 변질된다. 따라서 이를 방지하기 위하여, 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 고압세정기(60)에 주입하기에 앞서, 공급관(L2) 상의 3-way 온-오프 자동밸브(5, 8)를 이용하여 보조관(L6)을 통해 초임계 세정압력보다 낮은 압력의 이산화탄소를 고압세정기(60)에 주입한다. 이때, 고압세정기(60)의 압력은 압력조절밸브(54)에 의해 소정 압력 또는 소정 범위내의 압력(예컨대 초임계 세정압력보다 10bar 내지 40bar 낮은 압력)으로 조절된다.

이와 같이 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 고압세정기(60)에 주입하기에 앞서 초임계 세정압력보다 낮은 압력의 이산화탄소를 고압세정장치(60)에 주입함으로써 추후 주입되는 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 변질되지 않고 유지되어 효과적으로 세정이 이루어지도록 할 수 있다. 이때, 고압세정기(60)에 초임계 세정압력보다 낮은 압력으로 이산화탄소를 주입하는 이유는, 압력차에 의해 자연스럽게 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 고압세정기(60) 내로 유입되도록 하기 위함이다.

상술한 바와 같이 형성된 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물은 초임계 상태의 이산화탄소가 충전된 고압세정기(60)내에 투입되어 별도의 장치 없이 정체된 상태로 세정에 이용될 수 있다. 물론 도 1과 달리 도 2에 도시된 바와 같이 고압세정기(60)에 공급되는 균질의 투명상 혼합물이 안정하게 유지되도록 하고 혼합효과와 열교환 효과를 증진시키기 위하여, 순환관(L8)과 순환펌프(29)를 이용하여 외부 순환류를 형성하여 세정이 이루어지도록 할 수도 있다.

이와 같은 세정을 통해 웨이퍼 상의 포토리지스트 또는 식각 잔류물 등이 제거되면, 세정용 첨가제와 용해된 포토리지스트 잔류물 등의 세정오염물이 웨이퍼 표면에 잔존하지 못하도록 할 필요가 있다. 이를 위하여 균질 투명상 혼합기(60)에서 행굼용 첨가제 공급원(26)으로부터 공급되는 행굼용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소를 혼합하여 초임계 상태의 행굼용

혼합물을 형성하고, 이를 고압세정기(60)에 주입하여 세정 혼합물을 제거한다. 초임계 상태의 이산화탄소와 주로 알코올류인 행굼용 첨가제로 구성된 초임계 상태의 행굼용 혼합물은, 행굼용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소의 단순 혼합으로 형성할 수 있다. 이러한 초임계 상태의 행굼용 혼합물을 이용한 행굼공정의 경우 대략 80bar 내지 250bar의 압력 하에서 이루어지는 것이 바람직하다.

그 후, 초임계 상태의 이산화탄소만으로 웨이퍼 표면에 존재할 수 있는 행굼용 첨가제 혼합물을 제거할 수도 있다.

세정 및 행굼 이후에 상기 고압세정기(60)로부터 배출되는 혼합물은 분리기(61)에서 기체상의 이산화탄소 및 액체상의 첨가제로 분리된다. 이때, 행굼 단계 이후에 대략 35℃ 이상의 온도에서 고압세정기(60) 내부의 압력을 낮춤으로써 고압세정기(60)로부터 이산화탄소를 액체 상태를 거치지 않고 기체 상태로 제거한다. 그 결과, 종래의 세정공정과 달리 별도의 건조장치 또는 단계가 요구되지 않으며, 습식세정 후에 문제되는 물반점의 형성 등의 문제점을 원천적으로 방지할 수 있게 된다.

분리기(61)는 고압상태의 혼합물을 분리하기 위한 것이다. 세정, 행굼 및 건조 단계에서 이용된 고압의 세정 혼합물(최종적으로는 고압의 이산화탄소)이 3-way 온-오프 자동밸브(11)의 자동 동작에 의해 고압세정기(60)로부터 분리기(61)로 배출되고 정제되어 재사용된다. 한편 저압의 기체 이산화탄소는 3-way 온-오프 자동밸브(11)의 방향 전환에 의해 최종적으로 배출되어 별도 처리된다.

분리기(61)에서 상부로 분리되는 고압의 이산화탄소는 분리기(61) 상부 배출부의 연결관에 부착되어 압력을 조절하는 후압조절기(55)를 거쳐 세정컬럼으로 송출되고, 온-오프 자동밸브(12)의 자동동작에 의해 분리기(60)의 하부로 분리되는 액상 첨가물은 별도의 처리과정을 거쳐 분리·정제되어 재사용되거나 기존 반도체 제조 공장에서 적용되는 통상의 후처리에 의해 배출된다. 이때, 배출관(L7) 및 분리기(61)에는 가열원이 부착되어 초임계 상태의 이산화탄소 또는 액체 이산화탄소의 단열팽창에 의한 잠열 손실을 보충하여 원활한 기체 상태에서의 배출을 유도한다.

이러한 분리기(61)에서 분리된 기체상태의 이산화탄소는 후압조절기(55)를 거쳐 기체 세정컬럼(63)으로 이동하여 일차적으로 불순물이 제거되고, 흡착컬럼(64)으로 이동하여 이차적으로 불순물이 제거되어 고순도(99.99% 이상)의 기체 이산화탄소가 되는 정제 단계를 거치게 된다. 물론 세정컬럼(63)과 흡착컬럼(64) 중 어느 하나만을 이용할 수도 있다. 즉, 단순히 흡착컬럼(64)만으로도 정제가 가능하나 이는 대상 웨이퍼에 따라 달라질 수 있는 첨가제의 성분 또는 세정 반응으로 인한 휘발성 높은 기체 생성여부에 따라 결정된다.

이와 같은 정제 단계를 거친 후, 이러한 고순도의 기체 이산화탄소는 이산화탄소응축용기(23)에서 순환 냉매시스템에 의해 액체 상태로 응축되어 세정공정을 위해 재순환되는 응축 단계를 거치게 된다.

상술한 바와 같은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정에 따르면, 종래의 포토리지스트 또는 잔류물 제거에 사용되던 플라즈마 애싱공정(건식공정)과 습식공정의 2단계 공정을 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 이용한 1단계 건식 공정만으로 가능하게 할 수 있다. 또한, 세정과 행굼 및 건조가 단일의 고압세정기 내에서 연속적으로 이루어지므로 별도의 건조장치 및 단계가 필요치 않게 된다. 그리고 가압과 감압 단계를 거친 이산화탄소는 상변화를 통하여 전혀 잔류물을 남기지 않는다는 이점을 얻을 수 있다.

한편, 세정공정에서 초임계 상태의 이산화탄소만을 이용하는 경우에는 세정효과가 한정적이나, 본 실시예에 따른 세정공정에 따르면 초임계 상태의 이산화탄소와 세정용 첨가제를 혼합하여 세정을 실시함으로써 세정효과를 극대화시킬 수 있다. 이 경우 초임계 상태의 이산화탄소는 비극성이고 세정용 첨가제는 통상적으로 극성이므로 이들을 단순 혼합하여 초임계 상태를 유지하기 위해서는 상술한 바와 같은 조건보다 더 높은 초고압과 초고온이 요구되며, 이에 따라 세정비용이 급격히 상승한다는 문제점이 있었다. 따라서 이를 해결하기 위하여 본 실시예에 따른 세정공정에서는 세정용 첨가제가 계면활성제를 포함하도록 함으로써, 상술한 바와 같은 조건의 압력 등의 세정 조건 하에서도 용이하게 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 형성되고 유지되도록 한다. 이 경우, 균질 투명상 혼합기(70) 내에서 큰 압력차를 이용하여 세정용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소를 혼합함으로써, 별도의 믹서(mixer) 또는 초음파 장치 등을 이용하지 않고도 용이하게 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 단시간에 형성할 수 있다.

이와 같이 본 실시예에 따른 세정공정을 이용함으로써, 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물의 균질 투명상을 빠른 시간내에 용이하게 형성하고 유지하는 것이 가능하고 자동개폐의 세정장치, 자동밸브 등을 설계 구성하여 제어 시스템과 더불어 공정 자동화를 통해 세정을 용이하게 수행할 수 있다.

또한, 초임계 상태의 이산화탄소의 높은 확산속도를 이용함으로써 반도체 화학약품이 침투해 들어갈 수 있는 미세구조의 한계를 극복할 수 있으며, 또한 낮은 표면장력 특성을 이용하여 미세구조의 젖음성을 최대화할 수 있고, 그에 따라 초미세 구조의 패턴 형성과 제조과정에서 요구되는 초정밀 세정을 수행할 수 있다.

한편, 순수한 초임계 상태의 이산화탄소만을 사용하거나 균질의 투명상을 형성하기 어려운 초임계 상태의 유체 혼합물을 이용하여 잘 제거되지 않는 포토리지스트 및 잔류물의 제거를 위해서 후술하는 표에서 제시된 것과 같은 계면활성제를 포함하는 세정용 첨가제 배합을 이용할 수 있다.

상기 고압세정기(60)의 구체적인 구조 및 이 내부에서의 세정에 대해 설명하면 다음과 같다.

도 3은 도 1 및 도 2의 고압세정기(60)를 개략적으로 도시하는 정면도이고, 도 4a는 도 3의 고압 세정기의 상부요소를 개략적으로 도시하는 정면도이고, 도 4b는 도 3의 고압 세정기의 상부요소를 개략적으로 도시하는 저면도이며, 도 5a는 도 3의 고압 세정기의 하부요소를 개략적으로 도시하는 개념적인 단면도이고, 도 5b는 도 3의 고압 세정기의 하부요소를 개략적으로 도시하는 개념적인 평면도이며, 도 6a는 도 4a의 상부요소, 도 5a의 하부요소 및 매엽식 웨이퍼 장착기가 결합된 것을 개략적으로 도시하는 개념도이고, 도 6b는 도 6a의 웨이퍼 장착기를 개략적으로 도시하는 평면도이며, 도 7a는 도 6a의 변형예를 개략적으로 도시하는 개념도이고, 도 7b는 도 7a의 웨이퍼 장착기를 개략적으로 도시하는 평면도이다.

고압세정기(60)는 상부요소(101)와 하부요소(102)를 구비하며, 상부요소(101)는 상부요소 승하강 공압실린더(105)에 의해 상하운동을 할 수 있도록 되어 있다. 상부요소(101)가 하강하면, 부착형 공압실린더(106)가 상부요소(101)와 하부요소(102)의 부착형 공압실린더 삽입부(107) 내로 슬라이딩되어 상부요소(101)와 하부요소(102)가 결합되어 고정된다. 필요에 따라 고압세정기(60)의 상부요소(101)에는 상부요소 가이드핀(230)이 구비되고 하부요소(102)에는 가이드핀 삽입부(231)가 구비되도록 함으로써, 상부요소 가이드핀(230)이 가이드핀 삽입부(231)에 삽입되도록 하여 상부요소(101)와 하부요소(102)가 정확한 위치에서 결합되도록 할 수도 있다. 또한, 고압세정기(60)에 가열원 또는 냉각원(108)이 부착되도록 하여, 고압세정기(60)를 소정 온도 또는 소정 범위 내의 온도로 조절될 수 있다. 이 경우, 도 3에 도시된 것과 같이 가열원 또는 냉각원(108)은 고압세정기(60)의 하부요소(102)를 감싸고, 가열원 또는 냉각원(108)에 열매 또는 냉매가 유입되는 형태일 수 있다. 물론 이와 달리 가열원으로 저항이 높은 코일 등을 이용할 수도 있는 등 다양한 변형이 가능함은 물론이다.

고압세정기(60)의 내부 또는 외부의 직경은 세정 대상 웨이퍼의 직경에 따라 달라질 수 있다. 상부요소(101)와 하부요소(102)를 결합시키는 부착형 공압실린더(106)의 개수는 세정될 웨이퍼의 크기에 따라 달라질 수 있는데, 예컨대 8inch 웨이퍼의 경우 대략 6개 내지 8개가 구비될 수 있다(도 4b 및 도 5b 참조).

전술한 바와 같이 세정에 앞서 고압세정기(60) 내에 웨이퍼가 장착되는데, 이는 상부요소(101)와 하부요소(102)가 결합되기 전에 이루어진다. 세정될 웨이퍼는 도 6a 및 도 6b에 도시된 것과 같은 웨이퍼 장착기(201)에 장착되는데, 웨이퍼 장착기(201)는 웨이퍼 장착기(201)의 핀(돌출부, 210)이 상부요소(101)의 웨이퍼 장착기 고정부(210a, 도 4a 참조)에 삽입되어 고정된다. 이 경우 웨이퍼 장착기(201)의 핀(210)에는 나사산이 구비되고 상부요소(101)의 웨이퍼 장착기 고정부(210a)에는 나사공이 구비되어, 웨이퍼 장착기(201)가 상부요소(101)에 더욱 확실하게 고정되도록 할 수도 있다. 참고로 도 4b에서는 웨이퍼 장착기 고정부(210a)는 복수개가 구비되어 있는 것으로 도시되어 있으나 도 4a에서는 편의상 두 개만 도시하였다.

물론 도 5b에 도시된 것과 같이 필요에 따라 하부요소(102)에도 보조핀(211)이 구비되도록 하여 웨이퍼 장착기(201)에 삽입될 웨이퍼를 지지하도록 할 수도 있다. 물론 도 5b에 도시된 것과 같이 보조핀(211)이 반드시 두 개만 구비될 필요는 없으며 다양한 변형이 가능함은 물론이다.

웨이퍼 장착기(201)는 도 6a에 도시된 것과 같이 한 장의 웨이퍼가 장착되는 웨이퍼 장착기(201)일 수도 있고, 도 7a에 도시된 것과 같이 복수개의 웨이퍼가 동시에 장착될 수 있는 웨이퍼 장착기(201)일 수도 있다.

웨이퍼가 웨이퍼 장착기(201)에 장착된 후, 상부요소(101)가 하강하면서 일차적으로 압력 조절기(52, 53, 도 1 또는 도 2 참조)에 의해 저압(20psig 이하)의 고순도(99.99%이상) 기체 이산화탄소가 기체 이산화탄소 공급원(20, 도 1 또는 도 2 참조)으로부터 고압세정기(60) 내로 유입되어 고압세정기(60) 내부의 미세 오염물을 제거한다. 그리고 고압세정기(60)의 상부요소(101)와 하부요소(102)가 맞물리게 되면 부착형 공압실린더(106)에 의해 상부요소(101)와 하부요소(102)가 결합된다.

그 후, 고압(약 30bar 내지 50bar)의 고순도 기체 이산화탄소가 유입되고, 후에 유입될 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 변질되지 않도록 하기 위하여 초임계 세정압력보다 낮은 압력(예컨대 120bar 내지 300bar의 초임계 세정압력보다 10bar 내지 40bar 낮은 압력)의 이산화탄소가 고압세정장치(60)에 유입된다. 이때, 고압세정기(60)의 압력은 압력조절밸브(54)에 의해 소정 압력 또는 소정 범위내의 압력으로 조절된다. 그리고 세정이 이루어지도록 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 유입된다.

이때, 고압세정기(60)로 유입된 이산화탄소 또는 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 누출되지 않도록 고압세정기(60)는 완전하게 밀폐되어야 하는데, 이를 위하여 밀봉재가 더 구비될 수도 있다. 도 6a 및 도 7a에서는 제 1 밀봉재(220)와 제 2 밀봉재(221)가 구비되어 있는 경우가 도시되어 있다. 즉, 상부요소(101)의 하부요소(102) 방향의 면의 가장자리에는 제 1 절곡부가 구비되고, 하부요소(102)의 상부요소(101) 방향의 면의 가장자리에는 제 2 절곡부가 구비되며, 제 1 절곡부와 제 2 절곡부에 각각 제 1 밀봉재(220)와 제 2 밀봉재(221)가 구비되어 있다. 이와 같은 제 1 밀봉재(220)와 제 2 밀봉재(221)는 다양한 형상을 취할 수 있는데, 도 6a 및 도 7a에서는 'ㄷ' 형상을 갖는 것으로 도시되어 있다.

이러한 제 1 밀봉재(220)와 제 2 밀봉재(221)로는 상용화되어 있는 내압용의 에너지이드 테플론 씰(Energized Teflon Seal) 또는 금속 씰(Metal Seal) 등을 사용할 수 있다. 에너지이드 테플론 씰은 순수한 테플론 또는 충전재가 혼합된 테플론 류 등으로 형성된다. 이때, 제 1 밀봉재(220)와 제 2 밀봉재(221)의 복원력에 필요한 탄성을 위하여, 제 1 밀봉재(220)와 제 2 밀봉재(221)는 캔틸레버(cantilever)나 헬리코일(helicoil) 형상을 가질 수도 있다. 금속씰을 이용할 경우, 첨가제의 성분을 고려하여 부식이 발생되지 않는 SUS316 계통의 스텐레스 스틸, 하스텔로이-C(hastelloy-C) 또는 엘길로이(elgiloy) 등으로 형성될 수 있다.

물론 제 1 밀봉재(220)와 제 2 밀봉재(221)용 재료로는 이에 한정되지 않으며, 초임계 상태의 고압에서 내부식성과 내구성이 뛰어나고 밀봉이 가능한 것이라면 다양한 다른 재료로 형성된 것을 이용할 수 있다.

한편, 상술한 바와 같이 고압세정기(60) 내로 저압(20psig 이하)의 고순도(99.99%이상) 기체 이산화탄소와, 고압(약 30bar 내지 50bar)의 고순도 기체 이산화탄소와, 초임계 세정압력보다 낮은 압력(예컨대 120bar 내지 300bar의 초임계 세정압력보다 10bar 내지 40bar 낮은 압력)의 이산화탄소와, 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물 등이 유입되는데, 이는 고압세정기(60)의 상부요소(101)에 구비된 주입구(110)를 통해 유입된다.

이 주입구(110)는 웨이퍼 장착기(201) 상부로 연결된다. 웨이퍼 장착기(201)의 상면에는 도 6b에 도시된 것과 같이 웨이퍼 장착기(201)의 둘레방향으로 홈(202a)이 형성되어 있고, 또한 그 홈(202a) 내부에는 복수개의 스프레이 출구(202)들이 장착될 웨이퍼의 상면 방향으로 구비되어 있다. 주입구(110)는 주입구(110)를 통해 주입된 물질이 웨이퍼 장착기(201)의 홈(202a) 방향으로 주입되도록 구비되어 있으며, 따라서 주입구(110)를 통과한 물질이 웨이퍼 장착기(201)의 둘레방향의 홈(202a)을 따라 이동하다가 스프레이 출구(202)를 통과하여 장착된 웨이퍼를 세정하게 된다. 즉, 웨이퍼 장착기(201)는 고압세정기(60) 내에서 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 분배하여 세정 효과를 극대화하는 역할을 한다. 하나의 웨이퍼 장착기(201)에 복수개의 웨이퍼들이 장착되는 경우인 도 7b를 참조하면, 이 스프레이 출구(202)는 장착될 각 웨이퍼 방향으로 구비되어, 복수개의 웨이퍼들이 장착될 경우 각 웨이퍼를 효과적으로 세정할 수 있도록 한다.

이와 같이 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 고압세정기(60) 내로 유입되어 일정한 압력 또는 일정한 온도에서 균질 투명상을 유지하면서 웨이퍼를 세정하게 된다. 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물은 포토리지스트 고분자로 침투하여 팽윤함으로써 첨가된 세정용 첨가제와 함께 포토리지스트 고분자를 분해 또는 용해시킨다. 이 단계에서 실질적으로 웨이퍼 상의 포토리지스트 또는 식각 잔류물 등이 제거되게 된다.

한편, 이와 같이 웨이퍼 상의 포토리지스트 또는 식각 잔류물 등이 제거되면, 세정용 첨가제와 용해된 포토리지스트 잔류물 등의 세정오염물이 웨이퍼 표면에 잔존하지 못하도록 하기 위하여, 행굼용 첨가제 공급원(26)으로부터 공급되는 행굼용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소로 구성된 초임계 상태의 행굼용 혼합물로 세정 혼합물을 제거한다. 그리고 초임계 상태의 이산화탄소만으로 웨이퍼 표면에 존재할 수 있는 행굼용 첨가제 혼합물을 제거한다.

이와 같은 세정 및 행굼 단계에서 사용된 물질은 도 5a 및 도 5b에 도시된 것과 같은 배출구(111)를 통해 외부로 배출되어 전술한 바와 같이 후처리 되어 재사용되거나 별도로 처리된다. 물론 배출구(111)의 위치 및 형상은 도 5a 및 도 5b에 도시된 바에 한정되는 것은 아니며, 다양한 변형이 가능하다. 이 경우 도 5b에 도시된 것과 같이, 배출구(111)는 4b에 도시된 것과 같은 주입구(110)의 위치와 상호 반대방향이 되도록 하는 것이 바람직하다. 이를 통해 주입구(110)를 통해 주입되는 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물 또는 초임계 상태의 행굼용 혼합물 등이 고압세정기(66) 내부 전체를 거친 후 외부로 배출되도록 함으로써, 웨이퍼 등의 세정 및 행굼 등이 효율적으로 이루어지도록 할 수 있다.

상기와 같은 고압세정장치 및 전술한 바와 같은 세정공정 및 세정장치를 이용함으로써, 초임계 상태의 이산화탄소와 첨가제가 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 형성하여 고압세정기(60) 내에 투입된 웨이퍼의 표면을 세정할 수 있다. 또한, 종래와 달리 습식 공정이 혼입되지 않아, 우수한 세정 결과를 얻을 수 있다.

또한, 균질 투명상 혼합기(70)에서 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 형성되면, 이 혼합물이 스프레이 방식의 웨이퍼 장착기(201)를 통해 급속류로 웨이퍼 상으로 공급됨에 따라, 정제된 상태(도 1 참조)로도 우수한 세정효과를 달성할 수 있으며, 순환류 접촉(도 2 참조)에 의한 세정을 통해서는 혼합물의 유동성을 부여함으로써 혼합물과 웨이퍼의 접촉효과를 극대화시켜 용해된 포토리지스트 및 포토리지스트 잔류물을 지속적으로 제거하게 되어 세정효과를 더욱 강화시킬 수 있다.

그리고 상술한 바와 같이 세정단계 후에 웨이퍼 상에 잔존하는 세정용 첨가제와 오염물은 초임계 상태의 이산화탄소와 행굼용 첨가제의 혼합물인 초임계 상태의 행굼용 혼합물을 공급함으로써 제거할 수 있으며, 이후 잔존하는 행굼용 첨가제는 초임계 상태의 이산화탄소만을 공급함으로써 제거할 수 있다. 이 과정에서 사용되는 초임계 상태의 행굼용 혼합물은 행굼뿐만 아니라 보조적인 세정역할까지도 수행함으로써 세정작용을 극대화시킬 수 있다.

행굼 단계에서도 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물은 세정단계에서와 마찬가지로 스프레이 방식의 급속류로 공급되어 세정 대상 웨이퍼에 펌프 흐름만(도 1 참조)으로 접촉하거나 순환류(도 2 참조)와 병행 접촉하며 세정될 수 있다.

상기와 같은 세정시간과 행굼시간을 포함한 전공정시간은 10분 이내가 될 수 있다.

도 8은 도 2의 세정장치를 이용하는 세정공정 전 구간에 대한 시간과 압력 사이의 관계를 개략적으로 도시하는 그래프로서, 상술한 바와 같은 공정을 간단히 그래프화한 것이다. 도 8에서 P_C 는 초임계 압력을 의미하고, P_O 는 목적하는 초임계 세정압력을 의미한다. P_1 은 P_C 보다는 크고 세정압력 P_O , 즉 P_2 보다는 약 10bar 내지 40bar 정도가 작은 압력으로서, 균질 투명상 혼합기에서 형성된 초임계 균질 투명상 혼합물이 균질 투명상을 유지할 수 있는 압력이다.

전술한 바와 같이 고압세정기(60)내에는 초기에 압력 P_1 까지 초임계 상태의 이산화탄소만으로 채워지고 이후 짧은 시간 내에 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물이 채워져서 세정이 수행된다. 행굼은 도 8의 행굼 구간에서 알 수 있는 바와 같이, 세정압력 P_O 보다 낮은 압력에서도 가능하다. 물론 도 8에 도시된 공정은 예시적인 것이며, 본 발명은 이에 한정되지 않는다.

[실시예 1~4]

초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 이용하여 백-엔드-오브-더-라인(BEOL) 공정을 거친 웨이퍼를 건식세정 하여 알루미늄 급속 식각 후에 잔존하는 토끼 귀(rabbit ear) 모양의 포토리지스트 잔류물을 제거하는 실험을 하였다.

웨이퍼는 실리콘/실리콘 부산화막 4000Å/티타늄 300Å/질화티타늄 900Å/알루미늄 8000Å/티타늄 100Å/질화티타늄 400Å(Si/Si rich Oxide 4000Å/Ti 300Å/TiN 900Å/Al 8000Å/Ti 100Å/TiN 400Å)인 층구조를 가지며, 웨이퍼 상에는 급속 식각 과정에서 생성된 포토리지스트 잔류물이 잔존한 상태였다.

이때, 초임계 상태의 이산화탄소에 혼합되는 세정용 첨가제는 계면활성제와, 반도체 세정용 스트리퍼 또는 공용매 배합물과, 에탄올의 혼합물이었다. 초임계 상태의 이산화탄소에 혼합되는 1차 행굼용 첨가제로는 에탄올만을 사용하였고, 최종 단계인 2차 행굼에서는 첨가제 없이 초임계 상태의 이산화탄소만을 사용하였다.

상술한 바와 같은 조건의 웨이퍼를 동일하게 사용하였으며, 상이한 계면활성제를 사용하거나 세정 및 행굼 조건을 달리하여 세정실험을 실시하였다. 조건은 하기 표 1과 같다.

[표 1]

구 분	실시예 1	실시예 2	실시예 3	실시예 4

세정첨가제의 배합 조성 (중량%)	PFOA 83.5 스트리퍼 6.0 에탄올 10.5	monohydrated-PFOA 87.4 스트리퍼 5.2 에탄올 7.4	PFHA 83.5 스트리퍼 6.0 에탄올 10.5	PFOA 82.7 MEA 2.5 1-M-2-P 1.7 에탄올 13.1
세정첨가제의 용적	13.6%	16.2%	13.6%	13.6%
1차 행굼용 첨가제	에탄올	에탄올	에탄올	에탄올
1차 행굼용 첨가제의 용적	16.7%	16.7%	16.7%	16.7%
세정조건	55℃ 148bar 3분(정체)	51℃ 165bar 3분(정체)	54℃ 163bar 3분(정체)	52℃ 160bar 3분(정체)
1차 행굼조건	36℃ 132±6bar 2분(흐름)	45±1℃ 153±12bar 2분(흐름)	42℃ 125±3bar 2분(흐름)	40±1℃ 145±5bar 2분(흐름)
2차 행굼조건	39℃ 122±7bar 2분(흐름)	42℃ 148±7bar 2분(흐름)	46℃ 121±3bar 2분(흐름)	40±3℃ 136±6bar 2분(흐름)

여기서 1차 행굼 단계는 행굼용 첨가제와 초임계 상태의 이산화탄소가 혼합된 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 이용하여 행구는 단계이고, 2차 행굼 단계는 초임계 상태의 이산화탄소만으로 행구는 단계를 의미한다. 그리고 PFOA는 퍼플루오로옥타노익엑시드(perfluorooctanoic acid)를, PFHA는 퍼플루오로헵타노익엑시드(perfluoroheptanoic acid)를 의미한다.

초임계 유체 세정 및 행굼의 전제는 초임계 유체 혼합물의 구성요소가 상호 분리되지 않는 균질의 투명상 혼합물을 만들어 이를 유지하는 것으로, 본 실시예에 따른 세정공정에서 형성된 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물의 사진을 도 9에 나타내었다.

세정 후, 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 세정 전후를 관찰한 결과를 도 10a(세정 전), 도 10b(실시예 1), 도 10c(실시예 2), 도 10d(실시예 3) 및 도 10e(실시예 4)에 나타내었다. 여기에서, 도 10b, 도 10c 및 도 10d의 경우는 공용매를 반도체 세정용 스트리퍼와 에탄올은 동일하게 사용하고 계면활성제를 달리하여 세정용 첨가제를 배합하여 세정을 실시한 결과로서, 계면활성제 및 세정첨가제의 조성에 따른 세정 특성을 보이고자 하였으며, 도 10e의 경우는 공용매를 반도체 세정용 스트리퍼를 이용하지 않고 상기 표 1에서 알 수 있는 바와 같이 자체적으로 선정 및 배합하여 이용한 것이다.

세정 처리 전의 웨이퍼를 보여주는 도 10a를 참조하면, 알루미늄이 식각된 웨이퍼 표면 상에는 식각과정에서 생성된 고분자 물질의 포토리지스트 잔류물이 잔존하며, 이들은 웨이퍼 상에 토끼귀(rabbit ears) 모양의 오염형태로 나타나 있다.

도 10b 내지 도 10e는 표 1에의 조건 하에서 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 이용하여 도 10a의 웨이퍼를 세정한 후의 사진들이다. 도 10b 내지 도 10e에서 알 수 있는 바와 같이, 총 공정시간 10분 이내에 토끼 귀 모양의 포토리지스트 잔류물이 모두 제거되는 우수한 세정 결과를 확인할 수 있다.

[비교예 1 및 2]

도 10f는 도 10a의 웨이퍼를 종래의 습식세정공정으로 세정한 후의 단면 사진이고, 도 10g는 도 10a의 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 조건을 만족시키지 못하는 세정공정으로 세정한 후의 단면 사진이다.

도 10f의 경우 실시예 1에서 사용한 세정용 첨가제를 이용하여 120분 동안 종래의 습식세정을 실시한 것으로, 120분 동안이나 습식세정을 했음에도 불구하고 실시예 1 및 2의 세정결과와는 달리 토끼 귀 모양의 포토리지스트 잔류물이 잔존하고 있음을 확인할 수 있다. 이를 통해 본 발명의 초임계 건식 세정이 종래의 습식세정에 비하여 획기적인 세정결과를 보여줄 수 있다.

도 10g의 경우 실시예 1 내지 4의 조건에서 계면활성제를 사용하지 않거나 공정조건을 달리하여 균질의 투명상을 형성하지 못하는 경우로서, 세정상태가 불량함을 확인할 수 있다. 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 공정에서의 행굼을 하지 않는 경우에도 도 10g와 유사한 결과를 나타냈다. 이를 통해, 균질의 투명상을 형성하는 것이 본 발명의 건식세정에 있어서 필수요건임을 알 수 있다.

[실시예 5]

초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 이용하여 프론트-엔드-오브-더-라인(FEOL) 공정을 거친 웨이퍼 제조 과정 중에 있는 웨이퍼 상의 포토리지스트를 제거하는 실험을 하였다.

웨이퍼는 실리콘/HLD 1000Å/나이트라이드 4500Å/BPSG 21000Å/포토리지스트 10500Å(Si/HLD 1000Å/Nitride 4500Å/BPSG 21000 Å/PR 10500Å)의 층구조를 가졌으며, 사용된 웨이퍼는 파지티브 포토리지스트(positive photoresist)가 코팅된 p-타입 웨이퍼(p-type wafer)로서, 120℃에서 열처리를 하였다.

본 실시예에서 초임계 상태의 이산화탄소에 혼합되는 세정용 첨가제는 단순히 에탄올을 사용하였으며, 행굼도 단순히 초임계 상태의 이산화탄소만을 사용하여 1회 걸쳐 실시하였다.

세정조건은 하기 표 2와 같다.

[표 2]

세정용 첨가제	에탄올
세정용 첨가제의 용적(%)	13.6%
세정조건	58℃, 150 bar, 2분(정체)
행굼조건	48± 1℃, 142± 6bar, 2분(흐름)

도 11a는 프론트-엔드-오브-더-라인(FEOL) 공정을 거친 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정하기 전의 단면 사진이고, 도 11b는 표면 사진이다. 도 11a를 참조하면 웨이퍼 상에 포토리지스트층이 구비되어 있는데, 이 포토리지스트층에는 홈이 형성되어 있다. 이를 상부에서 바라보게 되면, 도 11b에 도시되어 있는 것과 같이 단면이 원형인 포토리지스트로 형성된 돌출부들이 웨이퍼 상에 형성되어 있다.

도 11c는 도 11a 및 도 11b의 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정한 후의 단면 사진이고, 도 11d는 표면 사진이다. 도 11c를 참조하면 도 11a에서와 달리 포토리지스트층이 완전히 제거된 것을 알 수 있으며, 이는 도 11d에서도 확인할 수 있다.

[실시예 6 및 7]

초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 이용하여 포스트-이온 주입(post ion implantation) 공정을 거친 웨이퍼를 세정하여, 숫자를 비롯한 다양한 형상의 패턴이 있는 이온 주입 웨이퍼 상에 비소(As)이온 주입 처리 중 잔존하게 되는 웨이퍼 표면에 돌출된 포토리지스트 및 포토리지스트 잔류물을 제거하는 실험을 하였다.

웨이퍼는 실리콘/옥사이드 5000Å/폴리 2000Å/포토리지스트 50000Å(Si/Oxide 5000 Å/Poly 2000 Å/PR 50000Å)의 층구조를 가졌으며, 비소(As) 이온 주입 에너지는 60KeV 였고, 도핑 이온의 양(dose)이 5E13/cm인 포스트-이온 주입(post ion implantation) 공정을 거친 웨이퍼를 사용하였다.

초임계 상태의 이산화탄소에 혼합되는 세정용 첨가제는 계면활성제, 반도체 세정용 스트리퍼 및 에탄올의 혼합물이었으며, 초임계 상태의 이산화탄소에 혼합되는 1차 행굼용 첨가제로는 에탄올만을 사용하였고, 최종 단계인 2차 행굼에서는 첨가제 없이 초임계 상태의 이산화탄소만을 사용하였다.

세정은 백-엔드-오브-더-라인(BEOL) 공정을 거친 웨이퍼의 세정 처리(실시에 1내지 4)에서와 같이 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물(도 9)을 형성하고 유지하면서 실시하였다. 세정조건은 하기 표 3과 같다.

[표 3]

구 분	실시에 6	실시에 7
세정용 첨가제의 배합 조성 (중량%)	PF0A 83.5 스트리퍼 6.0 에탄올 10.5	PF0A 83.8 스트리퍼 7.1 에탄올 9.1
세정용 첨가제의 용적 (%)	13.6%	17.5%
1차 행공용 첨가제	에탄올	에탄올
1차 행공용 첨가제의 용적 (%)	16.7%	16.7%
세정조건	59℃ 148 bar 3분(정체)	50℃ 150 bar 3분(정체)
1차 행공조건	43±3℃ 125±5bar 2분(흐름)	42℃ 150±3bar 2분(흐름)
2차 행공조건	48±3℃ 122±1bar 2분(흐름)	40℃ 150±5bar 2분(흐름)

도 12a는 포스트-이온 주입(post ion implantation) 공정을 거친 웨이퍼를 본 실시예에 따른 세정공정으로 세정하기 전의 표면 사진으로, 숫자를 비롯한 여러 가지 모양의 패턴을 갖는 웨이퍼 상에 포토리지스트 잔류물(희미한 흰색 점들)이 돌출하여 잔존함을 알 수 있다.

도 12b 및 도 12c는 도 12a의 웨이퍼를 본 실시예에 따른 세정공정으로 세정한 후의 표면 사진으로, 포토리지스트 잔류물이 확실하게 제거된 것을 확인할 수 있다.

상술한 바와 같은 세정공정에 있어서, 세정용 첨가제로는 상기 실시예들에서 사용한 것과 같은 것, 즉, 불소계 계면활성제를 포함하는 세정용 첨가제를 이용할 수 있다. 이와 같은 상기 불소계 계면활성제로는 탄소수 2 내지 20의 불소계 카르복실산, 평균 분자량이 300 내지 5000인 과불화 에테르계 폴리머 또는 이들의 혼합물을 들 수 있다.

또한, 세정용 첨가제는, 상기 실시예들에서 사용한 것과 같이, 불소계 계면활성제 0.01중량% 내지 90중량%과, 지방족 아민 0.01중량% 내지 15중량%과, 극성 유기용매 0.01중량% 내지 15중량%과, 알코올계 용매 0.1중량% 내지 20중량%과, 에테르계 용매 0.1중량% 내지 30중량%과, 부식방지제 0중량% 내지 5중량%과, 물 0중량% 내지 15중량%을 포함할 수 있다. 여기서 0중량%인 경우는 해당 요소가 세정용 첨가제에 포함되지 않음을 의미한다. 이는 후술하는 설명에서도 동일하다.

이와 같은 경우 불소계 계면활성제로는 탄소수 2 내지 20의 불소계 카르복실산, 평균 분자량이 300 내지 5000인 과불화 에테르계 폴리머 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다. 지방족 아민으로는 모노에탄올 아민, 2-(2-아미노에톡시)에탄올, 디에탄올 아민, 이미노비스프로필아민, 2-메틸아미노에탄올, 트리에틸아미노에탄올 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다. 그리고 극성 유기용매로는 N,N'-디메틸아세트아미드, 디메틸설폭사이드, 1-메틸-2-피롤리딘, N,N'-디메틸포름아미드, 암모늄플루오라이드 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다. 또한 알코올계 용매로는 메탄올, 에탄올, 이소프로판올 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다. 그리고 에테르계 용매로는 에틸렌글리콜 메틸에테르, 에틸렌글리콜 에틸에테르, 에틸렌글리콜 부틸에테르, 디에틸렌글리콜 메틸에테르, 디에틸렌글리콜 에틸에테르, 트리에틸렌글리콜 메틸에테르, 트리에틸렌글리콜 에틸에테르 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다. 한편 부식방지제로는 카테콜(catechol), 갈릭산(gallic acid) 또는 이들의 혼합물을 이용할 수 있다.

그리고 상기 세정용 첨가제는, 상기 실시예들에서 사용한 것과 같이, 불소계 계면활성제 0중량% 내지 90중량%과, 반도체 세정용 스트리퍼 0.1중량% 내지 15중량%, 알코올계 용매 0.1중량% 내지 20중량%과, 물 0중량% 내지 15중량%을 포함하는 것을 이용할 수도 있다. 이 경우 불소계 계면활성제는 탄소수 2 내지 20의 불소계 카르복실산, 평균 분자량이 300 내지 5000인 과불화 에테르계 폴리머 또는 이들의 혼합물일 수 있고, 알코올계 용매는 메탄올, 에탄올, 이소프로판올 또는 이들의 혼합물일 수 있다.

그리고 상기 세정용 첨가제로는, 상기 실시예에서 사용한 것과 같이, 알코올계 용매만을 사용할 수도 있고, 상기 웨이퍼를 행구는 단계에서 초임계 상태의 이산화탄소만을 사용할 수도 있으며, 알코올계 용매는 메탄올, 에탄올, 이소프로판올 또는 이들의 혼합물일 수도 있다.

그리고 상기 실시예에서 사용한 초임계 상태의 이산화탄소와 세정용 첨가제가 혼합된 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물에서, 세정용 첨가제는 전체 용적에서 30용적% 이하였다. 또한, 상기 실시예에서 사용한 초임계 상태의 이산화탄소와 행굼용 첨가제가 혼합된 초임계 상태의 균질 행굼용 혼합물에서, 행굼용 첨가제는 전체 용적에서 30용적% 이하였다. 이 경우 행굼용 첨가제는 메탄올, 에탄올 이소프로판올 또는 이들의 혼합물을 포함하였다.

발명의 효과

상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 세정장치 및 이에 사용되는 고압세정기에 따르면, 세정공정을 단순화시키고 세정에 소요되는 시간을 단축시키면서도 우수한 세정효과를 얻을 수 있다.

본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정에 사용되는 세정장치를 개략적으로 도시하는 구성도이다.

도 2는 본 발명의 바람직한 다른 일 실시예에 따른 세정공정에 사용되는 세정장치를 개략적으로 도시하는 구성도이다.

도 3은 도 2의 고압 세정기를 개략적으로 도시하는 정면도이다.

도 4a는 도 3의 고압 세정기의 상부요소를 개략적으로 도시하는 정면도이다.

도 4b는 도 3의 고압 세정기의 상부요소를 개략적으로 도시하는 저면도이다.

도 5a는 도 3의 고압 세정기의 하부요소를 개략적으로 도시하는 개념적인 단면도이다.

도 5b는 도 3의 고압 세정기의 하부요소를 개략적으로 도시하는 개념적인 평면도이다.

도 6a는 도 4a의 상부요소, 도 5a의 하부요소 및 매엽식 웨이퍼 장착기가 결합된 것을 개략적으로 도시하는 개념도이다.

도 6b는 도 6a의 웨이퍼 장착기를 개략적으로 도시하는 평면도이다.

도 7a는 도 6a의 변형예를 개략적으로 도시하는 개념도이다.

도 7b는 도 7a의 웨이퍼 장착기를 개략적으로 도시하는 평면도이다.

도 8은 도 2의 세정장치를 이용하는 세정공정 전 구간에 대한 시간과 압력 사이의 관계를 개략적으로 도시하는 그래프이다.

도 9는 초임계 세정에 이용되는 초임계 상태의 균질 투명상 혼합물을 나타내는 사진이다.

도 10a는 백-엔드-오브-더-라인(BEOL) 공정을 거친 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정하기 전의 단면 사진이다.

도 10b 내지 도 10e는 도 10a의 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정한 후의 단면 사진들이다.

도 10f는 도 10a의 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정이 아닌 습식세정공정으로 세정한 후의 단면 사진이다.

도 10g는 도 10a의 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 조건을 만족시키지 못하는 세정공정으로 세정한 후의 단면 사진이다.

도 11a는 프런트-엔드-오브-더-라인(FEOL) 공정을 거친 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정하기 전의 단면 사진이고, 도 11b는 표면 사진이다.

도 11c는 도 11a 및 도 11b의 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정한 후의 단면 사진이고, 도 11d는 표면 사진이다.

도 12a는 포스트-이온 주입(post ion implantation) 공정을 거친 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정하기 전의 표면 사진이다.

도 12b 및 도 12c는 도 12a의 웨이퍼를 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 세정공정으로 세정한 후의 표면 사진이다.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

1 - 12: 온-오프 자동 밸브 20: 기체 이산화탄소 공급원

21: 액체 이산화탄소 공급원 22: 공급관

23: 이산화탄소 응축용기 24: 고압펌프

25: 세정용 첨가제 공급원 26: 행굼용 첨가제 공급원

27: 세정용 첨가제 공급펌프 28: 행굼용 첨가제 공급펌프

29: 순환펌프 31, 32, 33: 가열기

51: 액체 이산화탄소 보충밸브 52, 53: 압력 조절기

54: 압력조절밸브 55: 후압 조절기

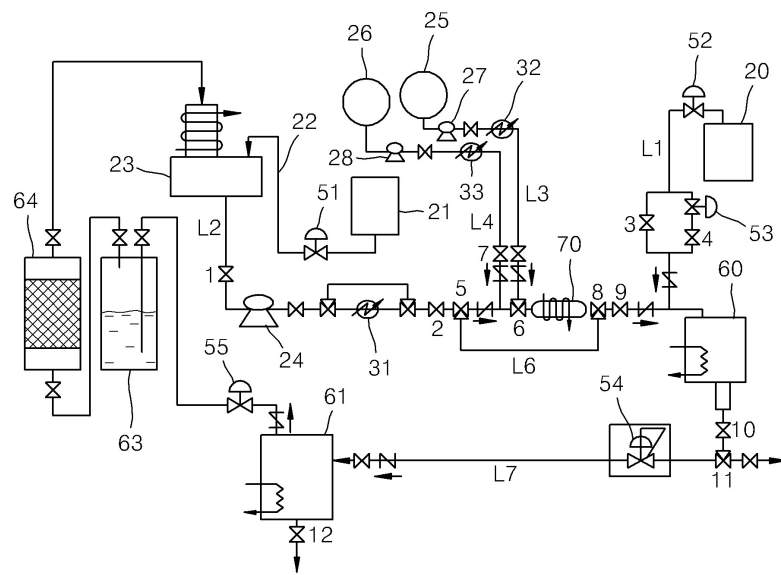
60: 고압세정기 61: 분리기

63: 세정컬럼 64: 흡착컬럼

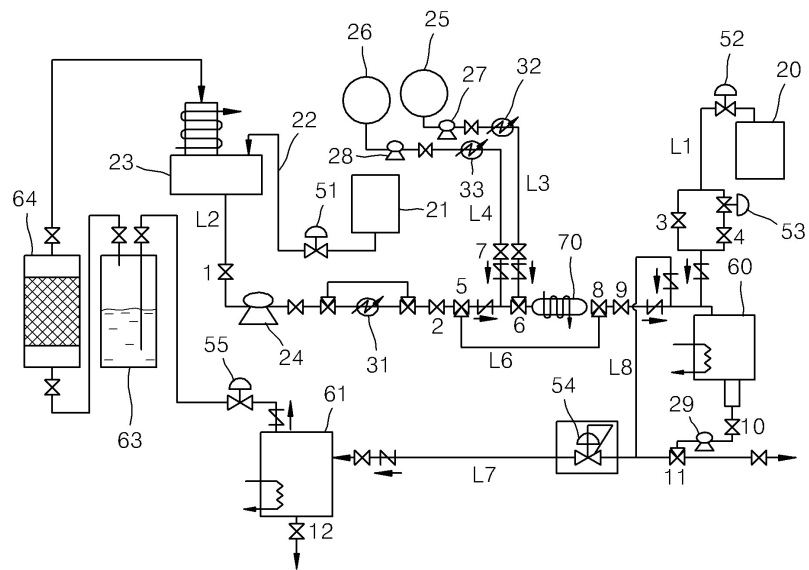
70: 균질 투명상 혼합기

도면

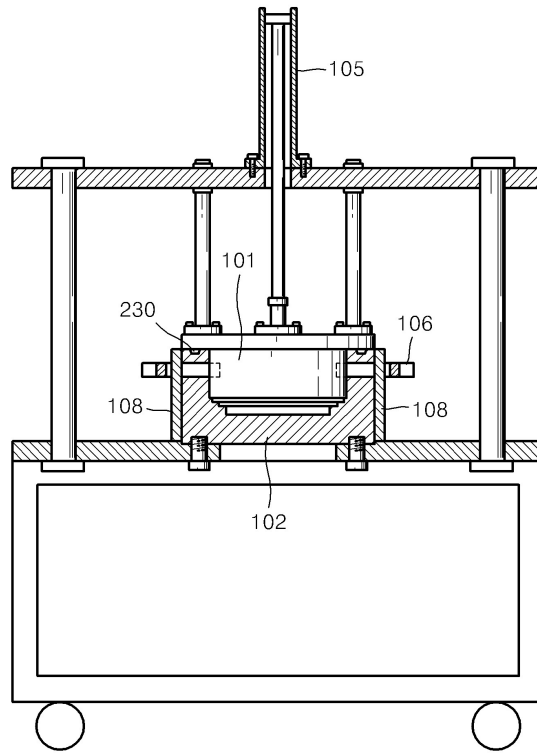
도면1



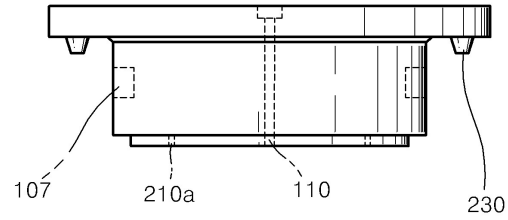
도면2



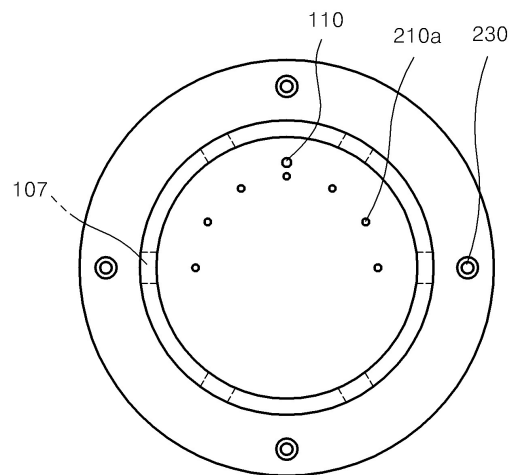
도면3



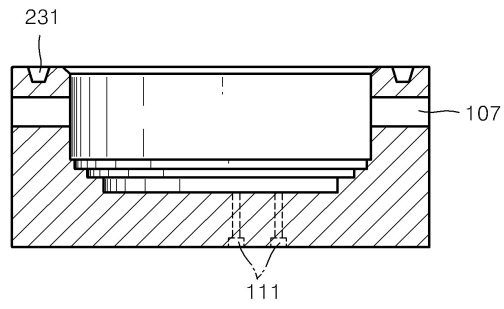
도면4a



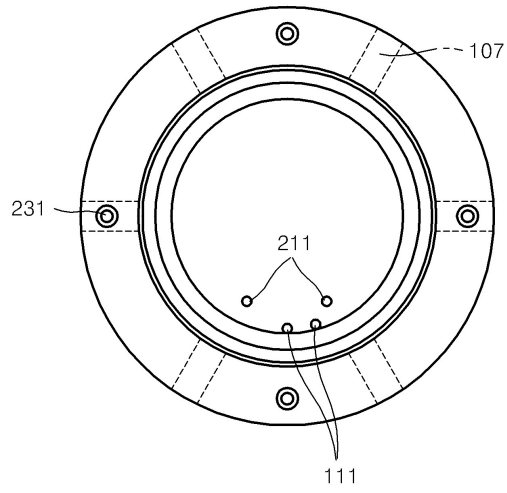
도면4b



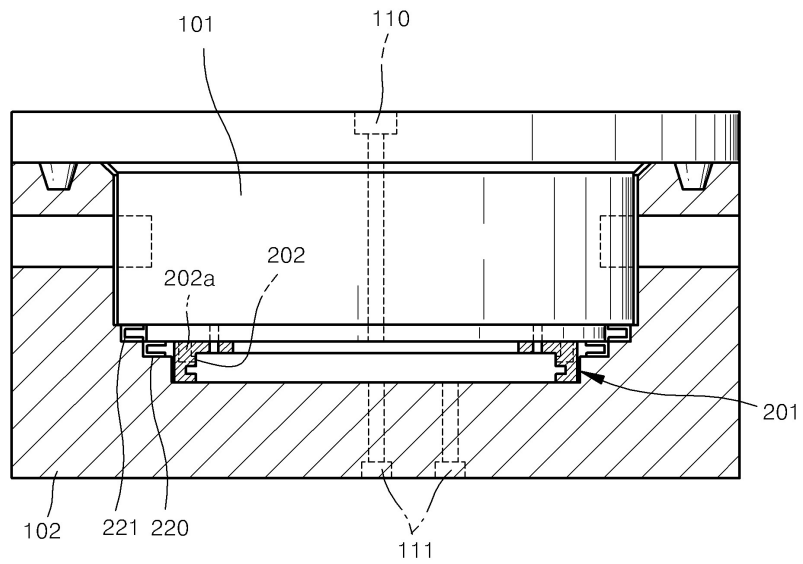
도면5a



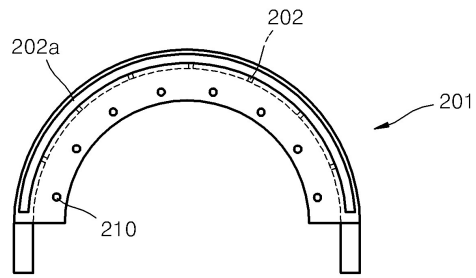
도면5b



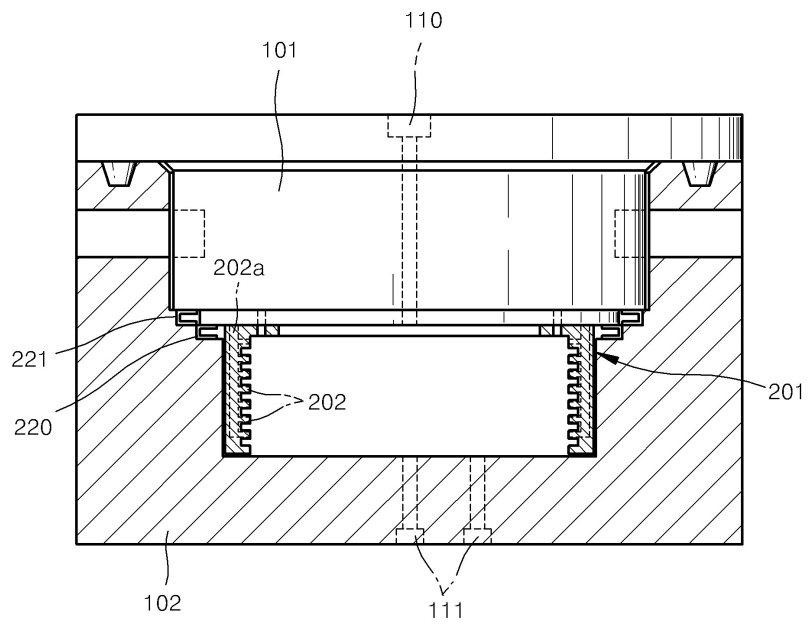
도면6a



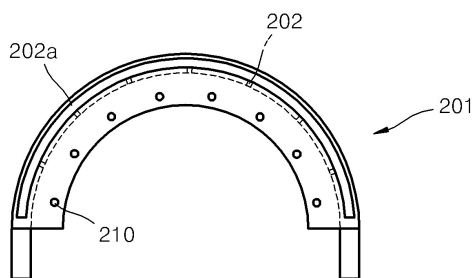
도면6b



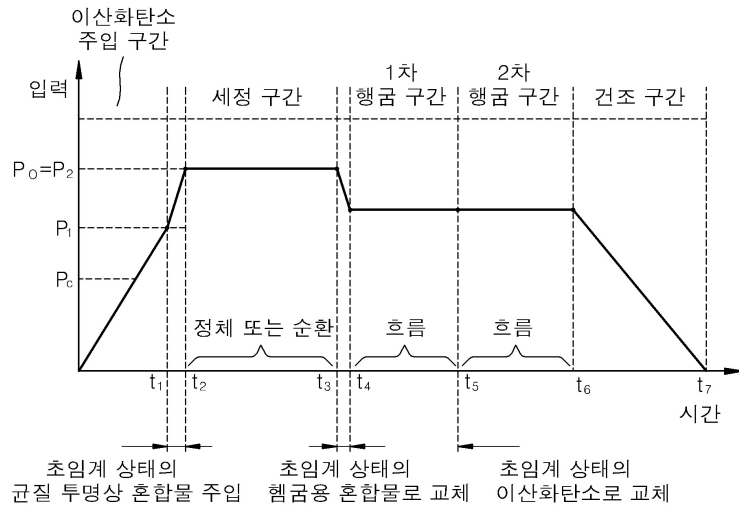
도면7a



도면7b



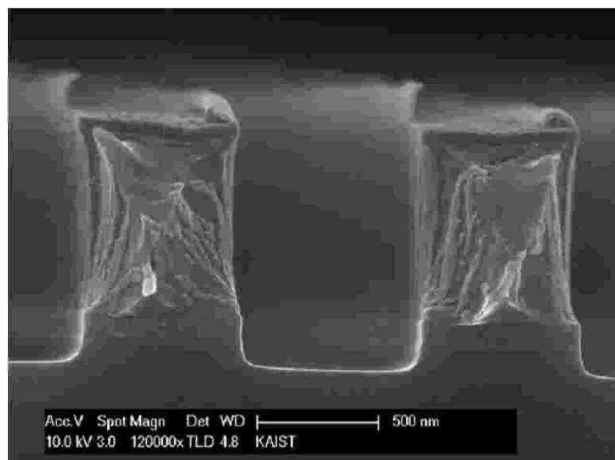
도면8



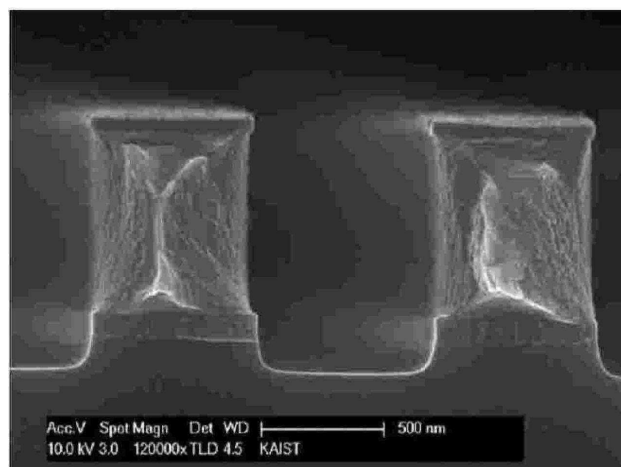
도면9



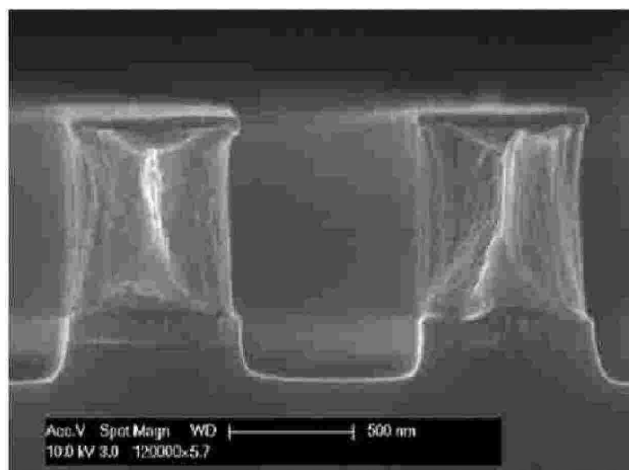
도면10a



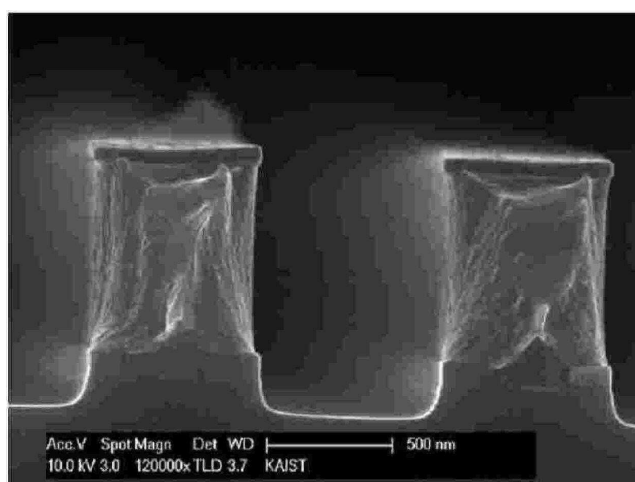
도면10b



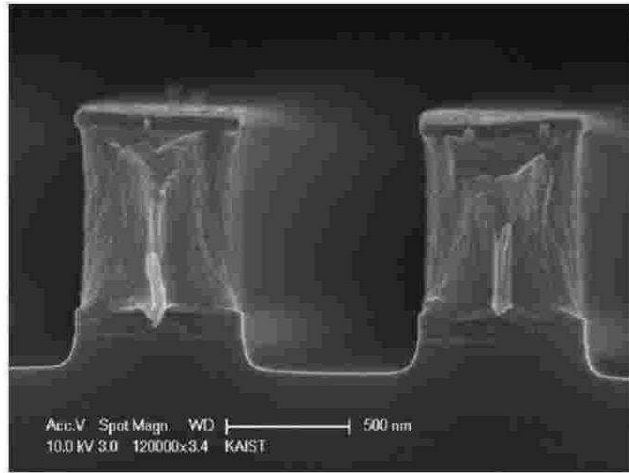
도면10c



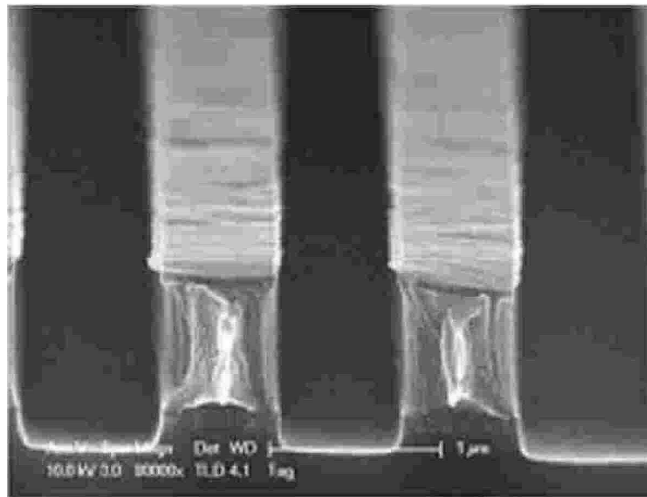
도면10d



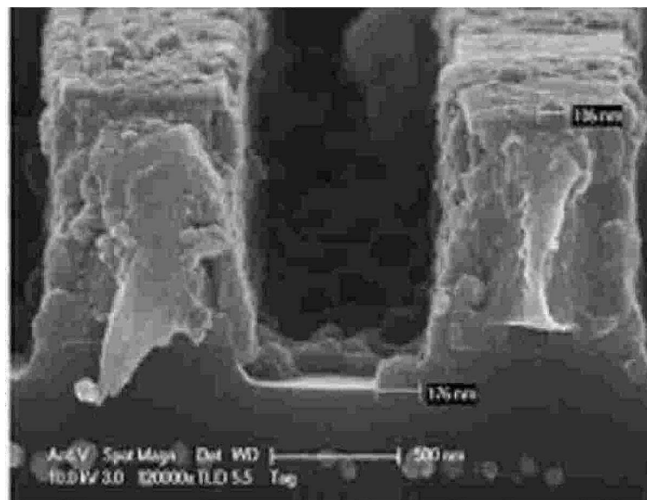
도면10e



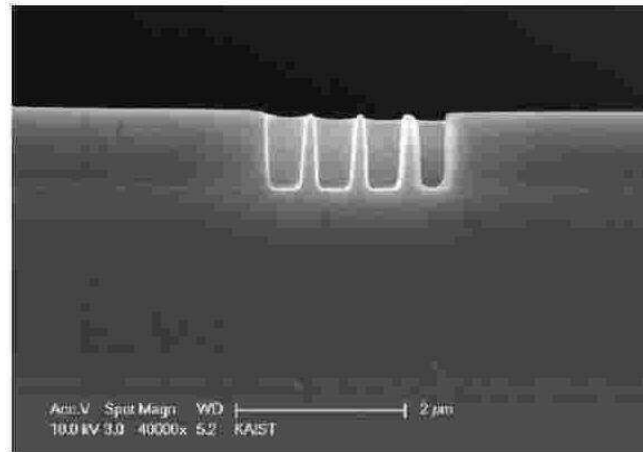
도면10f



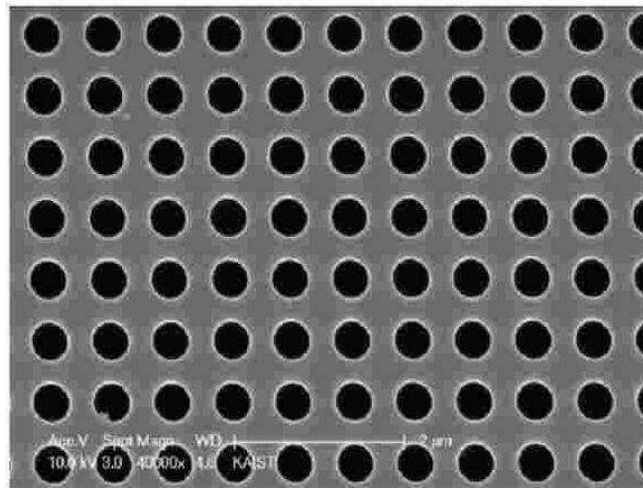
도면10g



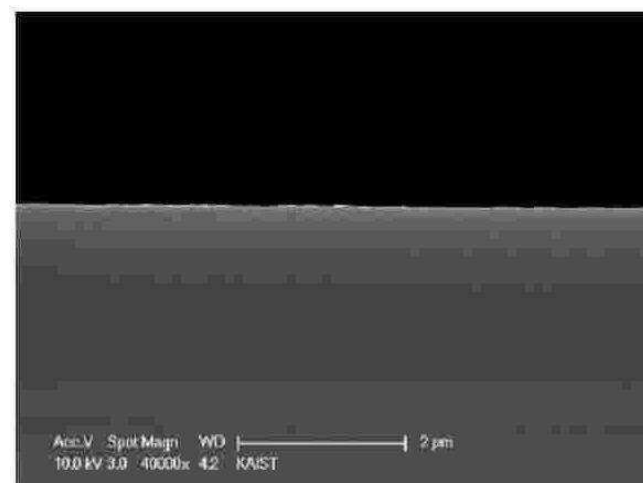
도면11a



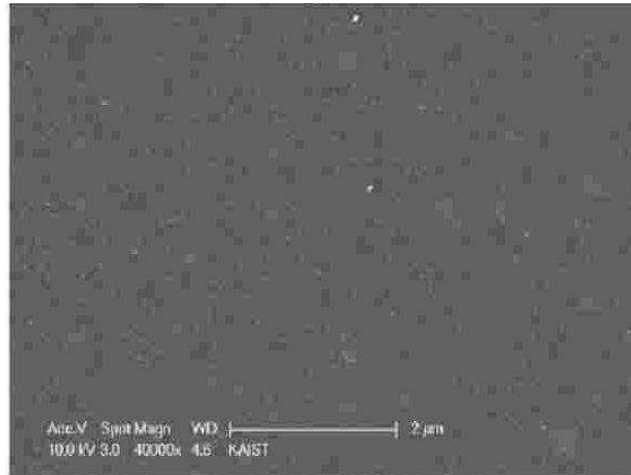
도면11b



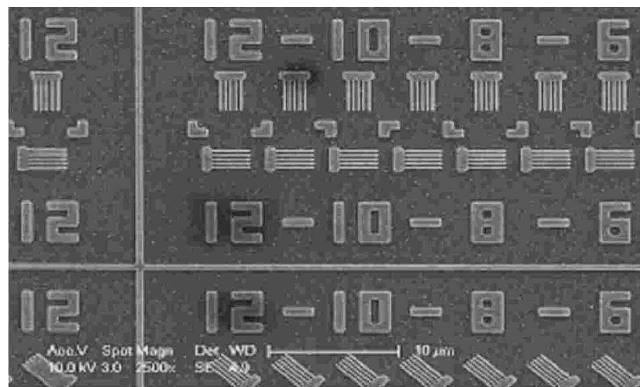
도면11c



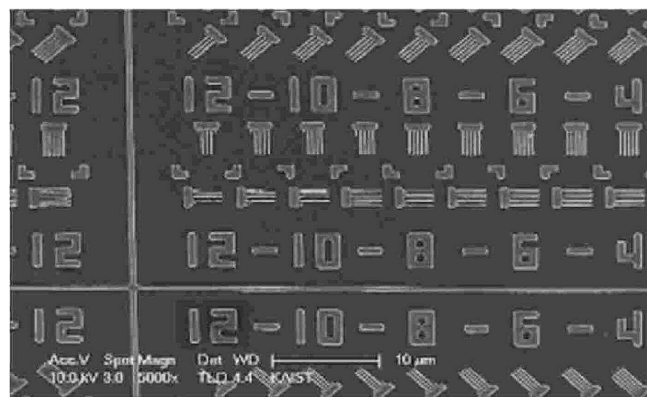
도면11d



도면12a



도면12b



도면12c

