

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) 。 Int. Cl.⁷ (11) 공개번호 10-2005-0107760
H01L 21/304 (43) 공개일자 2005년11월15일

(21) 출원번호 10-2005-7015513
(22) 출원일자 2005년08월22일
 번역문 제출일자 2005년08월22일
(86) 국제출원번호 PCT/US2004/005563 (87) 국제공개번호 WO 2004/077520
 국제출원일자 2004년02월23일 국제공개일자 2004년09월10일

(30) 우선권주장 10/373,513 2003년02월25일 미국(US)

(71) 출원인 룸 앤드 하스 일렉트로닉 머티리얼스 씨엠펜 홀딩스 인코포레이티드
 미국 델라웨어 19899 월밍톤 스위트 1300 노쓰 마켓 스트리트 1105

(72) 발명자 로윙 앤드류 스코트
 미국 아리조나 85003 피닉스 웨스트 몬테 비스타 로드 522

(74) 대리인 최규팔

심사청구 : 없음

(54) 웨이퍼 연마 및 패드 컨디셔닝 방법

요약

웨이퍼 표면을 평탄화할 때에, 고도의 평탄화 효율을 달성하는 표면 모폴로지를 구비한 연마 패드가 개시된다. 일 컨디셔닝된 연마 패드는 비다공성이고, 표면 거칠기 $Ra \leq 3$ 미크론의 표면 높이 분포를 갖는다. 다른 컨디셔닝된 연마 패드는 다공성이고, 패드 표면 높이 비 $R \geq 60\%$ 를 갖는 표면 높이 확률 분포를 갖거나, 또는 아니면 비대칭 계수 $A_{10} \leq 0.50$ 에 의해 특징되는 비대칭적 표면 높이 확률 분포를 갖는다. 또한, 패드 컨디셔닝 및 상기 연마 패드를 사용하여 웨이퍼를 평탄화하는 방법들도 개시된다.

대표도

도 6b

색인어

CMP, 연마 패드, 패드 컨디셔닝

명세서

기술분야

본 발명은 화학·기계적 연마(CMP)에 관한 것으로서, 구체적으로는 CMP 장치에 사용되는 연마 패드를 위한 최적 표면 모폴로지(morphology)에 관한 것이다.

배경기술

집적 회로 및 다른 전자 장치들의 제조에 있어서, 도전층, 반도체층 및 절연물의 다층이 반도체 웨이퍼의 표면에 적층되거나 혹은 이로부터 제거된다. 도전층, 반도체층 및 절연물의 얇은 층들은 많은 적층기술에 의해 적층될 수 있다. 현대의 공정에서의 일반적인 적층기술은 스퍼터링으로도 알려진 물리적 증기 증착법(PVD), 화학 기상 성장법(CVD), 플라즈마 증착 화학 기상 성장법(PECVD) 및 전기화학적 도금(ECP)을 포함한다.

물질층들이 순차적으로 적층되거나 제거될 때, 기판의 최상부 표면은 고르지 않게 되어 평탄화가 필요할 수 있다. 표면 평탄화 또는 표면 연마는 전체적으로 고르고 평탄한 표면을 형성하기 위해 웨이퍼의 표면으로부터 물질이 제거되는 공정이다. 평탄화는, 거친 표면, 응집된 물질, 결정 격자의 손상, 스크래치 및 오염된 층들이나 물질과 같은 원하지 않는 표면 토폴로그래피(topography) 및 표면 결함들을 제거하는 데에 유용하다. 또한, 평탄화는 형상들을 채워 후속 공정을 위한 평탄한 표면을 제공하기 위해 사용된 과도하게 적층된 물질을 제거함으로써 기판 상에 형상들을 형성하는 데에 유용하다.

화학·기계적 평탄화, 또는 화학·기계적 연마(CMP)는 반도체 웨이퍼와 같은 기판을 평탄화하기 위해 사용되는 일반적인 기술이다. 종래의 CMP에서, 웨이퍼 캐리어 또는 연마 헤드는 캐리어 어셈블리에 장착되고 CMP 장치의 연마 패드와 접촉하여 위치한다. 상기 캐리어 어셈블리는 연마 패드에 대해 기판을 압박하는 제어 가능한 압력을 제공한다. 상기 패드는 외부의 구동력에 의해 기판에 대해 임의로 이동(예를 들면, 회전)된다. 이와 동시에, 화학 조성물("슬러리") 또는 다른 유체 매개(fluid medium)가 상기 연마 패드 위로 흘러, 상기 기판과 연마 패드의 사이로 들어온다. 기판의 표면으로부터 물질을 선택적으로 제거하는 방식으로 슬러리와 연마 패드 표면의 화학적, 기계적 작용에 의해 반도체 기판의 표면은 연마된다.

연마 공정 중, 연마 패드는 패드의 표면 특성이 유지되도록 "컨디셔닝(conditioning)", 즉 패드 컨디셔닝에 의해 처리된다. 컨디셔닝이 없다면, 연마 패드의 표면 특성은 시간의 경과에 따라 변한다. 연마 패드의 표면은 최적의 연마에 적합하도록 초기에 컨디셔닝되기 때문에, 연마 도중에 패드 표면의 변형은 연마 효율의 손실을 초래하고, 이는 통상 바람직하지 못한 것으로 여겨진다.

CMP에서의 연마 효율은 몇 가지 연마 파라미터들, 즉 기판과 연마 패드 사이의 압력, 슬러리의 특성, 기판과 연마 패드의 상대적인 회전 속도, 기판 표면의 특성 및 연마 패드 표면의 특성에 의해 기술될 수 있다.

여기서, "효율"은 최소량 물질의 제거로 기판 표면 상의 단차(step height)를 줄일 수 있는 능력을 정량적으로 나타낸 것이다. 정량적으로, 평탄화 효율 PE는 다음과 같이 정의된다.

$$PE \equiv \frac{RR_{High} - RR_{Low}}{RR_{High}} \quad \text{식(1)}$$

여기서 RR_{High} 는 비교적 높은 높이 형상들(high elevation features)로부터의 물질의 제거 속도이고, RR_{Low} 는 상대적으로 낮은 높이 형상들(low elevation features)로부터의 물질의 제거 속도이다. 상기 식 (1)에 따라, $0 \leq PE \leq 1$ 이다.

도 1은 표면(22)을 구비한 기판(20; 이하, "웨이퍼")과 접촉하고 있는 표면(12)을 구비한 연마 패드(10)에 대한 개략적인 근접 단면도이다. 패드 표면은 통상 "표면 거칠기(surface roughness)"로 기술되는 표면 형상("모폴로지")를 갖는다. 일 실시예에서, 낮은 영역(20)과 높은 영역(32)은 집적 회로(ICs)의 형성 중에 웨이퍼에 형성되는 디바이스 구조(예를 들면, 비아, 트렌치, 상호배선 등)에 기인하여 발생한다.

도 2a는 이상적인 평탄화 효율에 대한 그래프이다. 평탄화의 초기 단계 I에서, 낮은 영역(30)은 패드와 접촉하지 않아서 이들 영역(RR_{Low})에 대한 제거 속도는 제로이고 $PE = 1$ 이 된다. 그리고 중간 단계 II 동안에, 낮은 영역(30) 및 높은 영역(32) 모두가 접촉하지만 패드와 웨이퍼 단차의 압착은 $RR_{High} > RR_{Low}$ 로 기술되고, 따라서 $0 < PE < 1$ 이다. 높은 영역(32)이 이미 효과적으로 제거된 최종 단계 III에서는 높은 영역(32)과 낮은 영역(30)이 모두 $PE = 0$ 이다. 이상적인 평탄화에서는 공정은 반드시 단계 I에서 단계 II로 즉시 이동하기 때문에 이상적인 PE 곡선은 계단함수이다.

실제로는, 기판상에서 서로 다른 유효 밀도를 갖는 영역들은 서로 다른 속도로 평탄화되고, 따라서 단계 II는 매우 짧지는 않다. 이러한 경우, 평탄화 효율(PE) 곡선은, 도 2b에 도시된 바와 같이, 단계 II에서 기울기를 갖는다. PE가 1 아래로 현저히 떨어지기 위해 소요되는 시간(즉, 공정이 단계 I에서 단계 II로 전환하는 데에 소요되는 시간)을 "유도 시간

(induction time)", T_1 이라고 부른다. 일반적으로 웨이퍼의 높은 영역만이 연마되도록 비교적 긴 유도 시간을 갖고, 이에 뒤이어 웨이퍼 상에서 저부에 놓여 있는 영역이 가능한 적게 연마되도록 단계 II에서 급격한 기율기를 갖는 것이 바람직하다. 긴 유도 시간을 특징으로 하는 공정들은 통상 복수의 물질로 이루어진 표면에서 더 적은 침식 및 디싱(dishing)을 초래하게 되며, 이러한 것들은 셀로우 트렌치 분리 및 카퍼 듀얼 다마신 구조(copper dual damascene structures)를 연마하는 최종 단계에서 만나게 된다.

연마 효율을 향상시키기 위한 기술들이 종래에 제안되었다. 예를 들어, 메이어(Meyor)에 허여된 미국 특허 제 6,497,613 호 - "마이크로복제 표면을 사용하는 화학·기계적 평탄화 방법 및 장치" - 는 날카로운 말단 정점들을 규칙적으로 배열한 구조를 갖는 연마 패드 표면을 기술하고 있다. 상기 말단 정점들은 연마 중에 워크피스(workpiece) 표면과 접촉함으로써 제거되거나 무너진다. 이렇게 평탄화 공정은 강한 연마(aggressive polishing)와 빠른 제거 속도로 시작하여 미세한 연마(fine polishing)와 느린 제거 속도로 마무리된다. 이 기술은 각 연마 작동에 대해 패드를 교체할 필요가 있으며, 최적의 패드 표면 모폴로지를 유지할 수 있는 컨디션닝 공정을 받을 수 없다.

되도록 적은 물질의 손실 및 가능한 적은 손상으로 가장 효율적으로 표면을 연마한다는 것은 비용의 큰 절감과 연관이 있기 때문에, 평탄화 성능을 최적화하는 모폴로지를 갖는 연마 패드 및 최적 모폴로지를 얻고 이를 유지하기 위해 패드를 컨디션닝하는 방법을 개발하는 것이 요망된다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 일 양상은, 표면 거칠기 $Ra \leq 3$ 미크론을 갖는 표면 거칠기 분포를 특징으로 하는 비다공성의 컨디션닝된 패드 표면을 포함하는 CMP용 연마 패드이다.

본 발명의 다른 양상은, 패드 표면 높이 비 $R \geq 60\%$, 또는 아니면 $R \geq 70\%$ 를 갖는 표면 높이 확률 분포를 특징으로 하는 실질적으로 평탄한 표면을 갖는 다공성의 컨디션닝된 패드 표면을 포함하는 CMP용 연마 패드이다.

본 발명의 또 다른 양상은, 비대칭 계수(asymmetry factor) $A_{10} \leq 0.50$ 을 갖는 비대칭 표면 높이 확률 분포를 특징으로 하는 다공성의 컨디션닝된 패드 표면을 포함하는 CMP용 연마 패드이다.

본 발명이 또 다른 양상은 비다공성 연마 패드의 표면을 컨디션닝 하는 방법이다. 상기 방법은 비다공성 연마 패드의 표면에 패드 컨디션너의 표면을 접촉하는 단계 및 상기 표면들을 서로 압박하는 힘을 가하면서 상기 비다공성 연마 패드의 표면에 대하여 상기 패드 컨디션너의 표면을 이동시킴으로써 비다공성 연마 패드의 표면에 표면 거칠기 $Ra \leq 3$ 미크론을 특징으로 하는 표면 거칠기를 형성하는 단계를 포함한다.

본 발명의 또 다른 양상은 다공성 연마 패드의 표면을 컨디션닝 하는 방법이다. 상기 방법은 패드 컨디션너의 표면을 다공성 연마 패드의 표면에 접촉하는 단계 및 상기 표면들을 함께 압박하는 힘을 가하면서 상기 비다공성 연마 패드의 표면에 대해 상기 패드 컨디션너의 표면을 이동시킴으로써 상기 비다공성 연마 패드의 표면에 패드 표면 높이 비가 $R \geq 60\%$, 또는 아니면 $R \geq 70\%$ 를 갖는 비대칭 표면 높이 확률 분포를 특징으로 하는 표면 거칠기를 형성하는 단계를 포함한다.

본 발명의 또 다른 양상은 다공성 연마 패드의 표면을 컨디션닝하는 방법이다. 상기 방법은 비다공성 연마 패드의 표면에 패드 컨디션너의 표면을 접촉시키는 단계 및 상기 표면들을 함께 압박하는 힘을 가하면서 상기 비다공성 연마 패드의 표면에 대해 상기 패드 컨디션너의 표면을 이동시킴으로써 비다공성 연마 패드에 비대칭 계수 $A_{10} \leq 0.50$ 을 갖는 비대칭 표면 높이 확률 분포를 특징으로 하는 표면 거칠기를 형성하는 단계를 포함한다.

도면의 간단한 설명

도 1a는 웨이퍼상의 높고 낮은 웨이퍼 형상의 평탄화를 나타내는 연마 패드 및 웨이퍼의 부분 단면도이다.

도 2a는 이상적인 연마 효율(PE)을 나타내는 디바이스 토폴로지를 갖는 웨이퍼에 대한 시간(또는 아니면, 제거된 물질의 양, "AMR") 대 연마 효율(PE)에 대한 그래프이다.

도 2b는 일반적인 연마 효율을 나타내는 디바이스 토폴로지를 갖는 웨이퍼에 대한 t 또는 AMR 대 PE의 그래프이다.

도 3a는 종래의 표면 모폴로지를 갖는 비다공성 연마 패드를 사용하여 웨이퍼를 평탄화할 때에 발생하는 일련의 AMR 대 PE 곡선들이다.

도 3b는 도 3a의 곡선들을 생성하는 데에 사용된 것과 같은 종래의 비다공성 연마 패드에 대한 높이 확률 분포(즉, 높이 대 빈도)에 대한 그래프이다.

도 4a는 본 발명의 비다공성 연마 패드를 사용하여 웨이퍼를 평탄화할 때에 생성되는 일련의 AMR 대 PE 곡선들이다.

도 4b는 도 4a의 곡선들을 생성하는 데에 사용된 것과 같은 본 발명의 비다공성 연마 패드에 대한 높이 확률 분포(즉, 높이 대 빈도)에 대한 그래프이다.

도 5a는 종래의 표면 모폴로지를 갖는 다공성 연마 패드를 사용하여 웨이퍼를 평탄화할 때에 생성되는 일련의 AMR 대 PE 곡선들이다.

도 5b는 도 5a의 곡선들을 생성하는 데에 사용한 것과 같은 종래의 다공성 연마 패드에 대한 높이 확률 분포(즉, 높이 대 빈도)의 그래프이다.

도 5c는, 종래의 다공성 연마 패드의 표면 모폴로지를 나타내며, 도 5b의 높이 확률 분포와 일치하는 패드 표면을 가로지르는 거리 X에 대한 표면 높이의 그래프이다.

도 6a는 본 발명의 다공성 연마 패드를 사용하여 웨이퍼를 평탄화할 때에 생성되는 일련의 AMR 대 PE 곡선에 대한 그래프이다.

도 6b는, 비대칭 스펙트럼을 나타내며, 도 6a의 곡선들을 생성하는 데에 사용된 것과 같은 본 발명의 비다공성 연마 패드에 대한 높이 확률 분포(즉, 높이 대 빈도)의 그래프이다.

도 6c는, 본 발명의 다공성 연마 패드의 평탄화된 표면 모폴로지를 나타내며, 도 6b의 높이 확률 분포에 일치하는 패드의 표면을 가로지르는 거리 X에 대한 표면 높이 h의 그래프이다.

도 7은 본 발명의 연마 패드를 구비한 CMP 장치의 측면도이다.

실시예

본 발명은 화학·기계적 연마(CMP)에 관한 것으로서, 구체적으로는 CMP 장치용 최적 연마 패드 모폴로지에 관한 것이다. 본 발명은 솔리드(즉, 비다공성) 연마 패드와 다공성 연마 패드 모두에 관한 것이다. 본 발명은 최적 표면 모폴로지, 즉 선행기술에 대비되는 높은 평탄화 효율을 갖는 표면 특성을 갖는 연마 패드 및 최적 표면 모폴로지를 달성하기 위해 패드를 컨디셔닝하는 방법에 관한 것이다. 본 발명에서는, 최적의 솔리드(비다공성) 연마 패드에 관해 먼저 기술하고, 이어 최적의 다공성 연마 패드에 관한 발명을 기술하도록 하겠다.

솔리드(즉, 비다공성) 연마 패드

도 3a를 참조하면, 종래의 표면 거칠기를 갖는 종래의 솔리드(즉, 비다공성) 연마 패드를 사용하여 웨이퍼를 평탄화할 때에 생성되는 일련의 제거 물질의 양 또는 "AMR"(Angstroms-옹스트롬) 대 PE의 곡선들이 나타나 있다. 모든 경우에서, 종래의 솔리드(즉, Rodel ILD1300)가 사용되었다. 사용된 웨이퍼들은 200mm TEOS(tetraethyl orthosilicate) 웨이퍼들이고, 이들은 캘리포니아 산타클라라의 SKW 협회에서 SKW 7-2로 구할 수 있었다. 웨이퍼들은 다양한 웨이퍼 패틴 밀도를 포함하고 있었다. 도 3a의 그래프의 부호는 실리콘 웨이퍼 위의 산화물층에 형성된 표면 면적의 퍼센티지로서 형상-스케일(feature-scale) 밀도를 나타낸다. 문자 "G" 및 "S"는 각각 "점차(gradual)" 및 "스텝(step)"을 지칭하고, 웨이퍼의 인접 영역간의 밀도 변화의 특성을 나타낸다.

도 3b는 도 3a의 곡선들을 생성하는 데에 사용된 것과 같은 종래의 비다공성 연마 패드에 대한 높이 확률 분포(즉, 높이 대 빈도)의 그래프이다. 구체적으로는, 채택한 패드의 표면은 표면 거칠기 $Ra = 5$ 미크론을 갖는 가우시안 표면 거칠기 확률 분포를 가졌다. 종래의 컨디셔닝된 연마 패드는 표면 거칠기 $Ra \geq 3.5$ 미크론을 가진다. 따라서, 도 3a는 종래기술의 연마 패드의 표면과 관련된 평탄화 효율을 대표하는 것이다.

이제, 도 4a를 참조하면, 채택된 연마 표면이 도 4b에 도시된 바와 같이 표면 거칠기 $Ra = 2$ 미크론의 가우시안 표면 거칠기 확률 분포를 가졌다는 점을 제외하고는, 도 3a에서와 같은 AMR 대 PE 그래프가 도시되어 있다. 이러한 낮은 표면 거칠기는 종래의 연마 패드 표면에서는 일반적인 것이 아니다.

일반적으로, 서로 다른 밀도의 형상들은 서로 다른 속도로 연마되며, 저밀도의 형상은 고밀도의 형상보다 더 빠르게(즉, 높은 제거 속도를 갖음) 연마되고, 더 먼저 평탄화된다. 그러나, 도 4b에서 보는 바와 같이, 연마 패드의 표면 거칠기가 훨씬 적더라도, 획득된 연마 효율이 종래기술의 그것에 비해 훨씬 높다는 것이 분명하다. 예를 들어, 본 발명의 저-거칠기 패드에 대하여, 약 6000 옴스트롱이 제거되었을 때에 10%에서 20%의 형상에서 평탄화가 이루어졌다. 한편, 종래기술에서의 종래 거칠기 패드에 대해서는, 9000 옴스트롱이 제거될 때까지 평탄화가 달성되지 않았다.

이는 직관에 반하는 결과이다. 본 발명의 발명자들은 컨디셔닝된 연마 패드의 표면 거칠기값 $Ra < 3.5$ 미크론이 종래의 컨디셔닝된 연마 패드 표면으로 얻을 수 있었던 것에 비해 최적화된 평탄화 효율을 얻을 수 있다는 것을 발견하였다. 본 발명의 일 실시예에서, 컨디셔닝된 연마 패드 표면은 표면 거칠기 $Ra \leq 3$ 미크론을 갖는다. 본 발명의 다른 실시예에서는, 컨디셔닝된 연마 패드의 표면이 표면 거칠기 $Ra \leq 2$ 미크론을 갖는다.

최적 연마 패드 표면 모폴로지의 이점은 연마 패드와 웨이퍼의 사이에 통상 요구되는 것보다 낮은 접촉 압력을 사용하여 평탄화 또는 연마를 수행한다는 것이다. 이는 저감된 표면 거칠기는 연마 패드의 더 많은 표면적을 웨이퍼와 접촉하게 하고, 면적당 동일한 양의 힘을 얻기 위해 더 작은 하향 힘(downward force)을 필요하기 때문이다. 이러한 이점은 저 유전상수 및 초저 유전상수를 갖는 막들과 같이 연마에 민감한 막들에서 특히 유리하다. 이러한 막들은 높은 접촉 압력으로 CMP를 수행할 때 유도되는 높은 응력을 받을 때에 손상이 되기 쉬운 것으로 알려져 있다.

비다공성 연마 컨디셔닝

델라웨어(Delaware) 뉴왁(Newark) 소재의 로델(Rodel)사의 모델명 OXP 4000과 같은 비다공성 연마 패드는, 위에 기술한 바와 같이, 종래에 컨디셔닝된 표면 거칠기 $Ra \geq 3.5$ 미크론을 갖는다. 본 발명에서는, 일 실시예에서 종래의 기술을 사용하여 비다공성 연마 패드가 표면 거칠기 $Ra < 3.5$ 미크론을 갖도록 컨디셔닝된다. 바람직하게는, 상기 비다공성 연마 패드의 표면은 표면 거칠기 Ra 가 1 내지 3 미크론을 갖도록 컨디셔닝된다. 가장 바람직하게는, 컨디셔닝된 비다공성 연마 패드가 Ra 는 1 내지 2인 표면 거칠기를 갖는다. 바람직하게는, 패드는 비다공성 폴리머 물질이다. 가장 바람직하게는, 상기 비다공성 패드는 폴리우레탄계 폴리머이다. 따라서, 양 실시예 모두에서, 컨디셔닝은 종래기술보다 현저히 낮은 표면 거칠기를 구비한 패드 표면을 개발하기 위해 사용된다.

종래의 컨디셔닝 기술은 본 발명의 낮은 표면 거칠기 모폴로지를 형성 및 유지하기 위해 사용된다. 이러한 기술들은 연마 패드 표면과, 예를 들어 대만 타이페이 소재의 키닉 컴퍼니(Kinik Company)에서 구입 가능한 다이아몬드 매입 패드 컨디셔너를 접촉시키는 것을 포함한다. 낮은 표면 거칠기 패드 모폴로지는 통상적인 공정 설정시에 채용될 때 종래기술 대비 상대적으로 낮은 절삭률(cut-rate)을 특징으로 하는 컨디셔너 설계를 이용하여 얻을 수 있다.

일 실시예에서, 본 발명의 모폴로지를 달성하고 유지하기 위한 다공성 연마 패드 컨디셔닝은 피벗 암(pivoting arm)에 탑재된 인시튜(in-situ) 컨디셔닝 도구를 사용하여 수행된다. 컨디셔닝은 인시튜 모드에서 약 $25 \text{ nm}/(1b_{cdf} \cdot \text{rpm}_{\text{palten}} \cdot \text{hour})$ 또는 그 미만의 절삭률을 적용하고, 여기서 $1b_{cdf}$ 는 파운드로 컨디셔너에 가해지는 힘을 나타내며, $\text{rpm}_{\text{palten}}$ 은 분당 회전수로서 연마 테이블의 회전 속도이다. 가장 바람직하게는, 컨디셔닝은 인시튜 모드에서 10 내지 25 $\text{nm}/(1b_{cdf} \cdot \text{rpm}_{\text{palten}} \cdot \text{hour})$ 의 절삭률을 적용한다. 이 실시예에서, 컨디셔닝 암 운동은 직경 20 내지 23인치의 테이블을 거쳐 거의 레이디얼 스위프(radial sweep)에서 실질적으로 평탄한 절삭률 프로파일이 되도록 최적화된다.

이러한 실시예들은 종래 매우 강한(high aggressiveness) 컨디셔닝의 종래기술에 대비되는 것이고, 이는 인시튜 모드에서 $40 \text{ nm}/(1b_{cdf} \cdot \text{rpm}_{\text{palten}} \cdot \text{hour})$ 이상의 절삭률을 적용한다.

원하는 절삭률과 패드 표면 모폴로지를 달성하기 위해 사용되는 덜 강한(low aggressiveness) 컨디셔너에 대한 일 실시예는 195 μm 또는 그 이상의 평균 직경과 1 내지 15/ cm^3 사이의 표면 밀도를 특징으로 하는 입방-팔면체(cubic-octahedral) 다이아몬드를 채용한다.

다공성 연마 패드

도 5a를 참조하면, 로델(Rodel)사의 IC1000 다공성 연마 패드를 사용하여 웨이퍼를 평탄화할 때에 생성되는 일련의 AMR 대 PE 곡선들이 도시되어 있다. 종래의 슬러리(즉, 로델사의 ILD1300)가 모든 경우에 사용되었다. 비다공성 패드의 경우에서와 같이, 사용된 웨이퍼들은 다양한 웨이퍼 패턴 밀도를 갖는 200 mm TEOS SiO₂ 웨이퍼였다. 도면상의 부호는 표면적의 퍼센티지로서의 형상-스케일 밀도를 나타낸다. 사용된 형상들은 실리콘 웨이퍼 위의 산화물층에 형성된 스텝 형상이었다. "G"와 "S" 문자는 각각 "점차(gradual)"와 "스텝(step)"을 지칭한다.

도 5b를 참조하면, 채택된 패드 표면은 표면 거칠기 Ra = 8 미크론을 갖는 실질적으로 대칭적인 표면 높이 확률 분포를 갖는다. 도 5c는 도 5b의 높이 확률 분포(스펙트럼)과 일치하는 패드 표면의 거리 X(미크론) 대 표면 높이 h(미크론)의 그래프이다.

도 5b에 도시된 표면 거칠기 확률 분포의 비대칭적 특성은 부분적으로 패드 물질에 내재한 다공성에 기인한다. 종래의 다공성 연마 패드는 5 내지 8 미크론의 표면 거칠기와 50 ~ 75 미크론의 식스-시그마(six-sigma) 높이 범위를 갖는다. 따라서, 도 5a는 종래기술의 다공성 연마 패드 표면과 연관된 평탄화 효율을 나타내는 것이다.

도 6a를 참조하면, 도 6b에 도시된 바와 같이 채용된 연마 표면이 표면 거칠기 Ra = 6.5 μm와 관련된 비대칭 높이 확률 분포를 갖는다는 것을 제외하고는 동일한 AMR 대 PE 곡선들이 도시되어 있다. 이러한 낮은 표면 거칠기 및 비대칭 높이 확률 분포는 종래의 연마 패드 표면에서는 전형적인 것이 아니다.

도 6b의 표면 높이 확률 분포의 비대칭은 f_{MAX}가 일어나는 높이 h_M에 대한 최대 빈도(f_{MAX})의 10%(f₁₀)에서 분포의 반쪽을 측정함으로써 정량화될 수 있다. W_L 값은 h_M의 좌측으로 측정할 때의 반쪽을 나타내고, W_R은 h_M의 우측으로 측정할 때의 반쪽을 나타낸다. W_R/W_L의 비는 비대칭 계수 A₁₀을 정의한다. 완전한 가우시안 분포는 비대칭 계수 1을 갖는다. 본 발명자들은 최적의 다공성 패드 모폴로지는 조합 비대칭 계수(associated asymmetry factor) A₁₀ ≤ 0.50을 갖는다는 것을 발견하였다.

일반적으로, 서로 다른 밀도를 갖는 형상들은 서로 다른 속도로 연마되며, 저밀도 형상들은 고 밀도 형상들보다 더 빠르게(즉, 고 제거 속도) 연마되고, 더 먼저 평탄화된다. 그러나 연마 패드의 표면 거칠기가 훨씬 적다고 하더라도, 얻어진 연마 효율이 선행기술(도 5a)보다 훨씬 크다는 것이 도 6a로 보아 명백하다. 이는 직관에 반하는 결과이다.

도 6c는 도 6b의 표면 높이 확률 분포(스펙트럼)에 일치하는 거리 x(미크론) 대 표면 높이 h(미크론으로)의 그래프이다. 도 6c에서, 도 5c에 도시된 종래(즉, 선행기술)의 가우시안 표면과 비교할 때, 패드 표면의 더 많은 부분이 주어진 높이 h_A(이하, "패드 표면 높이")에 있다. 상기 패드 표면 높이 h_A는 분포의 통계적인 "모드", 즉 가장 자주 나타나는 높이 값을 나타낸다. 도 6c의 패드 표면은 선행기술의 연마 패드보다 더 평평하다.

또한, 평탄화된 연마 패드는 패드 표면 높이 비 R ≥ X% - 표면의 X% 또는 그 이상이 최대 빈도로 발생하는 패드 표면 높이 h_A 이거나 그 미만임을 의미함 - 로 특징되는 "평탄도"를 갖는 것으로도 기술된다. 본 발명의 각 실시예에서, 컨디셔닝된 연마 패드 표면은 패드 표면 높이 비 R ≥ 60%를 갖는다. 바람직하게는, 컨디셔닝된 연마 패드는 패드 표면 연마비 R이 60 내지 95%이다. 가장 바람직하게는, 컨디셔닝된 연마 패드 표면은 패드 표면 연마비 R이 70 내지 90%이다. 바람직하게는, 다공성 패드는 폴리머 물질이다. 가장 바람직하게는, 다공성 패드는 평균 크기 100μm 미만의 기공들을 함유하는 폴리우레탄계 폴리머이다.

도 5a 내지 도 6a를 비교하면 본 발명의 평탄화된 다공성 연마 패드 표면은 종래의 다공성 연마 패드 표면에 비하여 더 큰 평탄화 효율을 제공한다는 것이 나타난다.

다공성 연마 패드 컨디셔닝

일 실시예에서, 본 발명의 모폴로지를 얻기 위한 다공성 연마 패드 컨디셔닝은 피벗 암(pivoting arm) 상에 탑재된 종래의 인시튜 컨디셔닝 도구를 사용하여 수행된다. 일 실시예에서는, 인시튜 컨디셔닝 및 표준 CMP 공정을 이용하는 CMP 시스템에서, Rodel IC1000과 같은 다공성 연마 패드에 대한 예측되는 패드-웨이퍼 접촉 면적은 통상적인 공정 설정에서 약 10%이다. 종래기술의 다공성 패드 컨디셔닝과 연관된 거친(abrasive) 컨디셔닝은 동일한 조건 하에서 약 2 - 5%로 패드-웨이퍼 접촉 면적이 발생하게 된다. 따라서, 패드-웨이퍼 계면에 가해지는 압력은 종래기술에 비해 본 발명의 컨디셔닝 방법이 2 - 5배 더 낮다.

일 실시예에서는, 인시튜 모드에서 약 $25 \text{ nm}/(\text{lb}_{\text{cdf}}\text{-rpm}_{\text{platen}}\text{-hour})$ 미만의 절삭률을 적용한다. 이 실시예에서는, 컨디셔닝 암 운동이 직경 20 - 23 인치의 테이블을 가로지르는 거의 레이디얼 스위프(radial sweep)에서 실질적으로 평탄한 절삭률 프로파일이 되도록 최적화된다.

다른 실시예에서, 패드 컨디셔닝은 비대칭 계수가 0.5 이하인 것으로 특징되는 패드 표면을 발생시킨다. 바람직하게는, 상기 컨디셔닝은 0.10 내지 0.50의 비대칭 계수에 의해 특징되는 패드 표면을 발생시킨다. 가장 바람직하게는, 컨디셔닝은 0.25 내지 0.50의 비대칭 계수로 특징되는 패드 표면을 발생시킨다.

이러한 실시예들은 인시튜 모드에서 $40 \text{ nm}/(\text{lb}_{\text{cdf}}\text{-rpm}_{\text{platen}}\text{-hour})$ 의 절삭률을 적용하는 종래기술의 매우 강한 컨디셔닝(high-aggressiveness conditioning)에 대비된다.

본 발명에 따른 다공성 연마 패드의 덜 강한 컨디셔닝(low aggressiveness conditioning)의 일 실시예는 평균 직경 195 미크론 또는 그 이상, 1 내지 $15/\text{cm}^2$ 사이의 표면 밀도로 특징되는 입방-팔면체 다이아몬드를 채용한다.

다른 실시예에서는, 컨디셔닝이 50 미크론의 깊이까지 침투하고, 또 패드 표면을 스미어(smear)하고 깎아내어(chip) 면 처리된 돌기들(truncated asperities)을 형성하는 연마제(예를 들면, 다이아몬드)를 갖는 컨디셔닝 패드로 수행된다.

또 다른 실시예에서는, 다공성 연마 패드의 컨디셔닝은 표면의 돌기들을 면처리하여, 더 많은 패드 표면이 도 6c에 도시된 바와 같이, 패드 표면 높이 h_A 이하에서 생길도록 수행된다. 다공성 연마 패드의 돌기 구조는 도 5c에 도시된 바와 같이, 컨디셔너의 강함(aggressiveness)이 증가될수록 점점 덜 면처리가 된다.

면처리된 돌기들은 웨이퍼 표면의 움푹한 형상들로부터 물질을 제거할 가능성이 적고, CMP 동안에 디싱(dishing) 및 침식에 기여할 가능성이 적다. 또한, 면처리된 돌기에 의해 특징되는 패드 표면은 더 많은 표면적을 웨이퍼 표면에 제공하는 경향이 있고, 따라서 이에 비례하여 연마 중에 더 적은 표면 압력을 필요로 한다. 결국, 이는 CMP 동안에 표면에 손상이 가해질 가능성을 낮춘다.

따라서, 일 실시예에서, 비다공성 연마 패드를 컨디셔닝하는 것은 컨디셔닝 패드에 이로부터 50 미크론까지 연장되는 연마제를 갖는 표면을 제공하고 나서, 컨디셔닝 패드 표면을 상기 비다공성 연마 패드 표면에 접촉시킴으로써 수행된다. 그 다음 상기 표면들을 서로 압박하는 힘을 제공하면서 상기 컨디셔닝 패드 표면이 상기 비다공성 연마 패드 표면에 대해 이동된다. 상기 공정은 비대칭 계수 $A_{10} \leq 0.50$ 을 갖는 비대칭 표면 높이 확률 분포로 특징되는 비다공성 연마 패드 표면에서 표면 거칠기를 형성하고 유지하기 위해 수행된다.

다른 실시예에서는, 표면 높이 확률 분포가 패드 표면 높이비 $R \geq 60\%$ 를 갖도록 동일한 공정이 수행된다. 또 다른 실시예에서는, 상기 공정이 $R \geq 70\%$ 이 되도록 수행된다.

CMP 시스템

도 7은 위에 구체적으로 기재한 본 발명의 연마 패드(202)의 실시예를 채용한 CMP 시스템(200)을 나타내고 있다. 연마 패드(202)는 상부 면(204)을 갖는다. 시스템(200)은 축(A1)의 주위에서 회전 가능한 연마 테이블(210)을 포함한다. 테이블(210)은 패드(202)가 탑재되는 상부 면(212)을 갖는다. 축(A2)의 주위에서 회전 가능한 웨이퍼 캐리어(220)가 연마 패드 표면(204) 위에서 지지된다. 웨이퍼 캐리어(220)는 패드 상부 면(204)과 나란한 하부 면(222)을 가진다. 웨이퍼(226)는 하부 면(222)에 탑재된다. 웨이퍼(226)는 연마 패드 표면(204)과 마주보는 표면(228)을 갖는다. 웨이퍼 표면(228)이 연마 패드 표면(204)에 대해 가압되도록 하는 하향 힘(F)을 제공하도록 웨이퍼 캐리어(220)가 조절된다.

또한, 시스템(200)은 슬러리(244)를 수용하는 저장기(242; 예를 들면, 온도가 제어되는)를 구비한 슬러리 공급 시스템(240)을 포함한다. 슬러리 공급 시스템(240)은 상기 저장기(242)와 일단(247)이 연결되며, 패드 위로 슬러리(244)를 분배하기 위해 상기 패드의 상부 면(204)과 유체로 연결(fluid communication)되는 타단(248)을 구비한 도수로(246; conduit)를 포함한다.

시스템(200)은 패드 상부 면(204)와 동작 상태에서 연결(operable communication)되는 패드 컨디셔닝 부재(250)를 더 포함한다. 패드 컨디셔닝 부재(250)는 상기 기술한 본 발명에 따라 패드 상부 면(204)을 컨디셔닝하도록 조절된다. 일 실시예에서, 패드 컨디셔닝 부재(250)는 일단에 컨디셔닝 도구(예를 들면, 컨디셔닝 패드)를 갖는 종래의 스위핑(sweeping) 컨디셔닝 암을 포함한다. 다른 실시예에서는, 패드 컨디셔닝 부재(250)는 종래의 컨디셔닝 링이다.

또한, 시스템(200)은 연결부(274)를 통하여 슬러리 공급 시스템(240)에, 연결부(276)를 통하여 웨이퍼 캐리어(220)에, 연결부(278)를 통하여 연마 테이블(210)에, 그리고 연결부(279)를 통하여 패드 컨디셔닝 부재(250)에 결합된 제어기(270)를 포함한다. 제어기(270)는 연마 동작 중에 이러한 시스템 구성요소들을 제어한다. 일 실시예에서, 제어기(270)는 프로세서(280; 예를 들면, CPU), 상기 프로세서에 연결된 메모리(282) 및 상기 제어기 내부에서 상기 프로세서, 메모리 및 기타 구성요소들을 지원하는 보조 회로(284; support circuitry)를 포함한다.

계속해서 도 7을 참조하면, 동작 시에 제어기(270)는 슬러리 공급 시스템(240)을 기동시켜 슬러리(244)를 회전하는 연마 패드 상부 면(204) 위로 분배한다. 상기 슬러리는 웨이퍼(266) 아래에 있는 부분의 면을 포함하여 연마 패드 상부 면 위에서 퍼진다. 또한, 제어기(270)는 웨이퍼 캐리어(220)를 선택된 속도(예를 들어, 0 내지 150 분당회전수, "rpm")로 회전하도록 구동시켜 웨이퍼의 표면(228)이 연마 패드 표면(204)에 대해 이동하도록 한다.

또한, 웨이퍼 캐리어(220)는 선택된 하향 힘 F(예를 들면, 0 ~ 15 psi)을 제공하여 웨이퍼 표면(228)이 연마 패드 표면(204)에 대해 가압되도록 한다. 또한, 제어기(270)는 일반적으로 0 내지 150 rpm으로 연마 테이블의 회전 속도를 제어한다. 웨이퍼(226)의 연마와 함께, 제어기(270)는 연마 패드 표면(204)을 컨디셔닝하기 위해 패드 컨디셔닝 부재(250)를 제어한다. 상기 패드 표면 컨디셔닝은 앞에서 구체적으로 기술한 방식으로 수행되며, 구체적인 컨디셔닝 방법은 연마 패드 표면(204)이 비다공성인가 아니면 다공성인가에 따라 다르다.

연마 패드 표면(204)은 최적 표면 모폴로지를 갖기 때문에, 평탄화 효율이 종래의 수단에 비해 크다. 개선된 평탄화 효율은 웨이퍼로부터 물질이 덜 제거되게 하고, 더 효율적인 단차를 제거할 수 있고, 또 본 발명의 경우에는, 웨이퍼 표면을 손상시킬 확률이 적다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

비다공성 연마 패드의 표면을 컨디셔닝하는 방법에 있어서,

패드 컨디셔너 표면을 상기 비다공성 연마 패드 표면에 접촉하는 단계; 및

상기 표면들을 서로 압박하는 힘을 제공하면서 상기 비다공성 연마 패드 표면에 대해 상기 패드 컨디셔너 표면을 이동시킴으로써, 상기 비다공성 연마 패드 표면에 표면 거칠기 $Ra \leq 3$ 미크론에 의해 특징되는 표면 거칠기를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

상기 패드 컨디셔너는 약 $25 \text{ nm}/(1b_{cdf} \cdot \text{rpm}_{\text{palten}} \cdot \text{hour})$ 또는 그 미만의 절삭률(cut-rate)에 의해 특징되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 3.

다공성 연마 패드의 표면을 컨디셔닝하는 방법에 있어서,

패드 컨디셔너 표면을 상기 다공성 연마 패드 표면에 접촉시키는 단계; 및

상기 표면들을 서로 압박하는 힘을 제공하면서 상기 비다공성 연마 패드 표면에 대해 상기 패드 컨디셔너 표면을 이동시킴으로써, 상기 비다공성 연마 패드 표면에 패드 표면 높이 비 $R \geq 60\%$ 을 갖는 비대칭적 표면 높이 확률 분포에 의해 특징되는 표면 거칠기를 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

$R \geq 70\%$ 인 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 5.

제 3 항에 있어서,

상기 패드 컨디셔너는 약 $25 \text{ nm}/(1b_{\text{cdf}}\text{-rpm}_{\text{palten}}\text{-hour})$ 또는 그 미만의 절삭률(cut-rate)에 의해 특징되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 6.

다공성 연마 패드의 표면을 컨디션닝하는 방법에 있어서,

패드 컨디셔너 표면을 상기 다공성 연마 패드 표면에 접촉시키는 단계; 및

상기 표면들을 서로 압박하는 힘을 제공하면서 상기 비다공성 연마 패드 표면에 상기 패드 컨디셔너 표면을 이동시킴으로써 상기 비다공성 연마 패드에 비대칭 계수 $A_{10} \leq 0.50$ 을 갖는 비대칭적 표면 높이 확률 분포에 의해 특징되는 표면 거칠기를 형성하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 7.

제 6 항에 있어서,

상기 패드 컨디셔너는 약 $25 \text{ nm}/(1b_{\text{cdf}}\text{-rpm}_{\text{palten}}\text{-hour})$ 또는 그 미만의 절삭률(cut-rate)에 의해 특징되는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 8.

웨이퍼의 표면을 평탄화하는 방법에 있어서,

표면 거칠기 $Ra \leq 3$ 미크론을 갖는 표면을 비다공성 연마 패드에 구비하고 이를 유지하는 단계;

상기 연마 패드 표면과 상기 웨이퍼 표면을 이동 가능하게 접촉시키는 단계;

상기 연마 패드 표면에 대해 상기 웨이퍼 표면을 가압하는 단계; 및

슬러리가 있는 상태에서, 상기 웨이퍼 표면에 대해 상기 연마 패드 표면을 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 9.

웨이퍼의 표면을 평탄화하는 방법에 있어서,

패드 표면 높이 비 $R \geq 60\%$ 을 갖는 표면 높이 확률 분포에 의해 특징되는 표면 거칠기를 갖는 다공성 연마 패드를 마련하고 이를 유지하는 단계;

상기 연마 패드 표면과 상기 웨이퍼 표면을 이동 가능하게 접촉시키는 단계;

상기 연마 패드 표면에 대해 상기 웨이퍼 표면을 가압하는 단계; 및

슬러리가 있는 상태에서, 상기 웨이퍼 표면에 대해 상기 연마 패드 표면을 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

청구항 10.

웨이퍼의 표면을 평탄화하는 방법에 있어서,

비대칭 계수 $A_{10} \leq 0.50$ 을 갖는 비대칭적 표면 높이 확률 분포에 의해 특징되는 표면 거칠기를 갖는 다공성 연마 패드를 마련하고 이를 유지하는 단계;

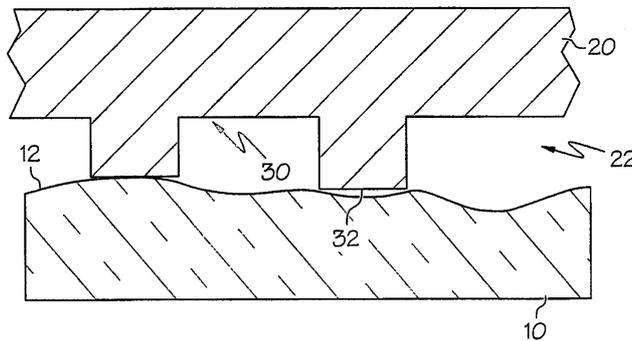
상기 연마 패드 표면과 상기 웨이퍼 표면을 이동 가능하게 접촉시키는 단계;

상기 연마 패드 표면에 대해 상기 웨이퍼 표면을 가압하는 단계; 및

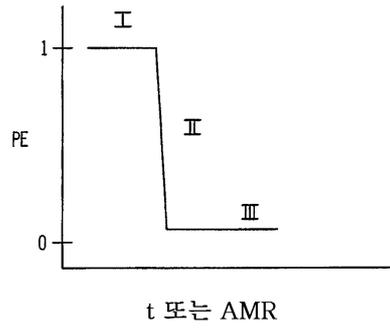
슬러리가 있는 상태에서, 상기 웨이퍼 표면에 대해 상기 연마 패드 표면을 이동시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방법.

도면

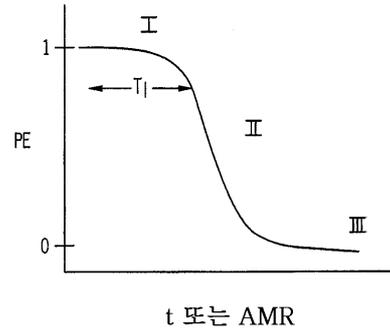
도면1



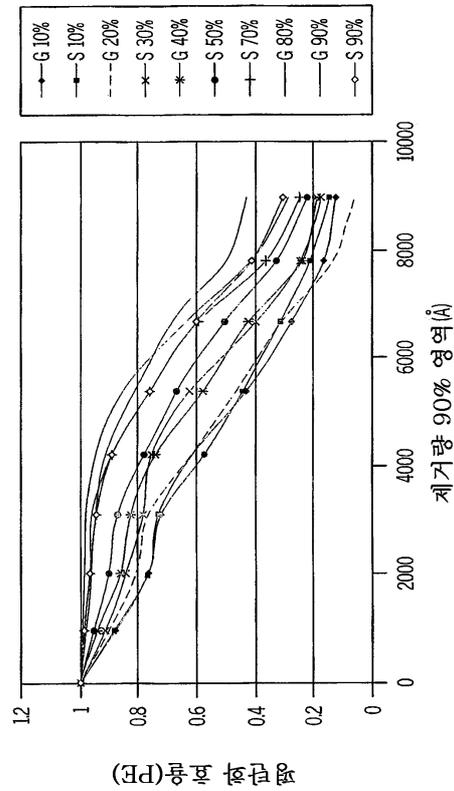
도면2a



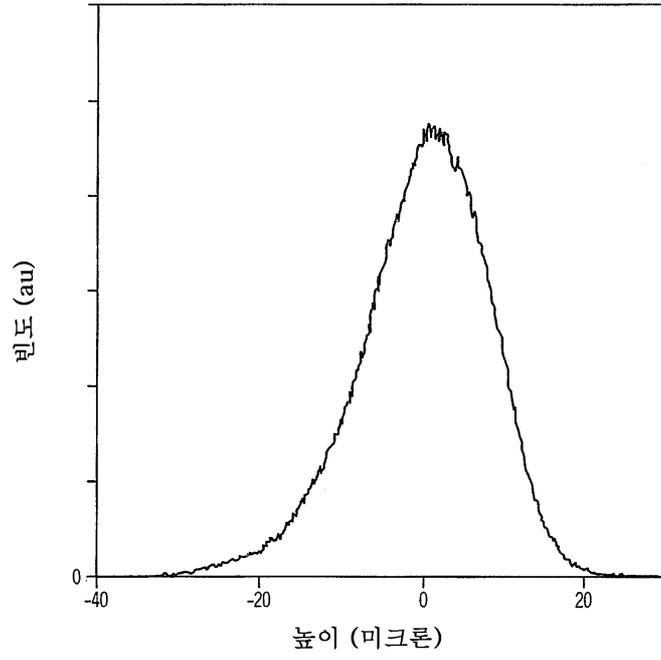
도면2b



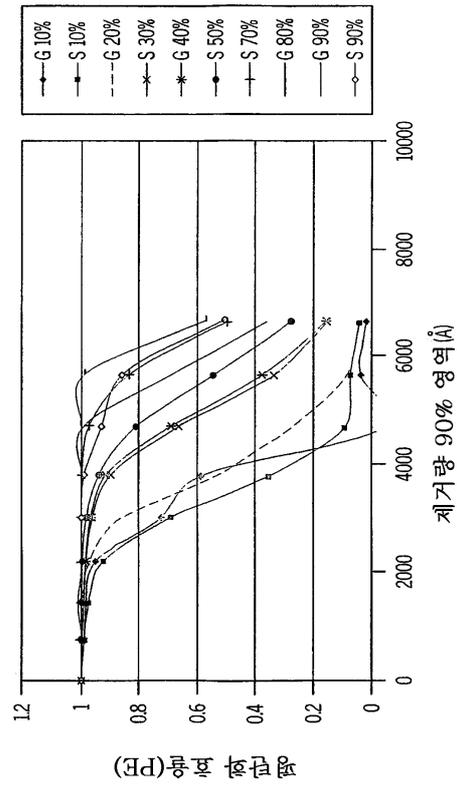
도면3a



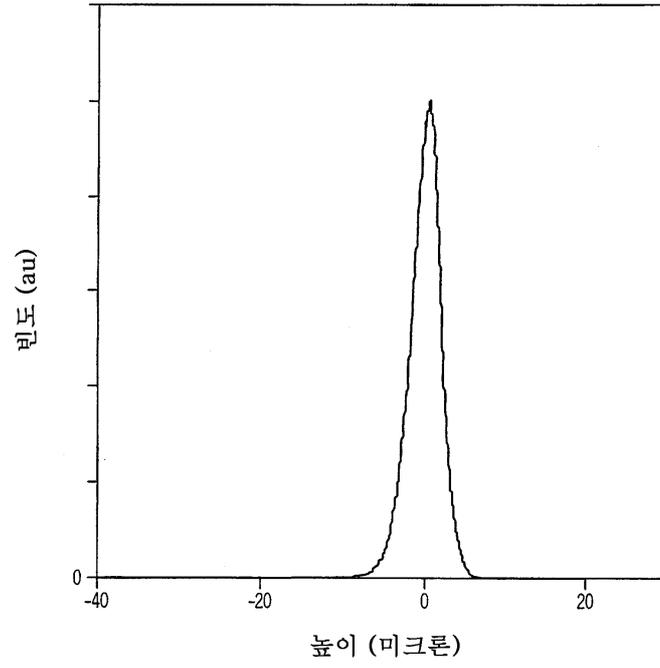
도면3b



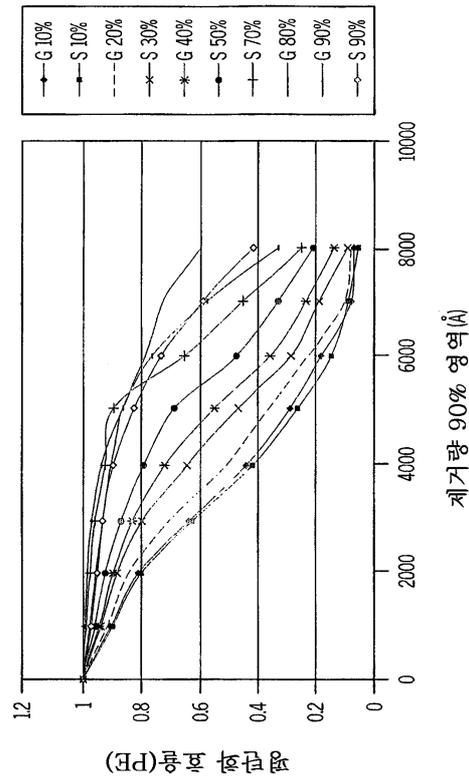
도면4a



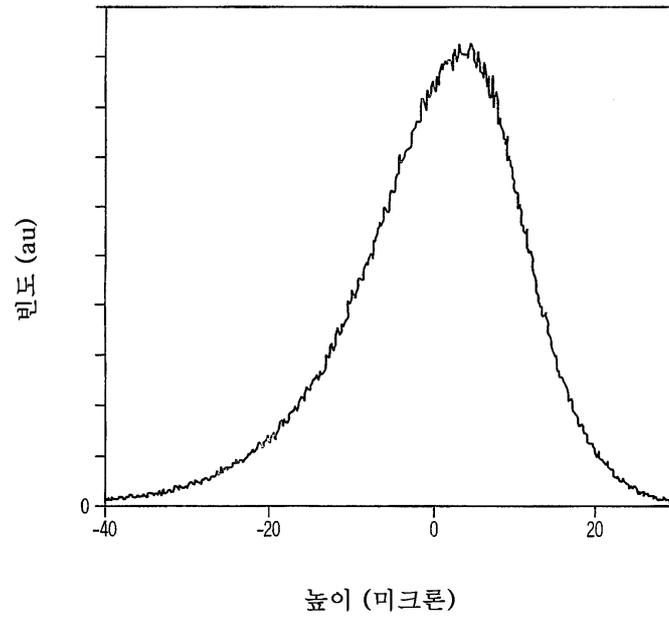
도면4b



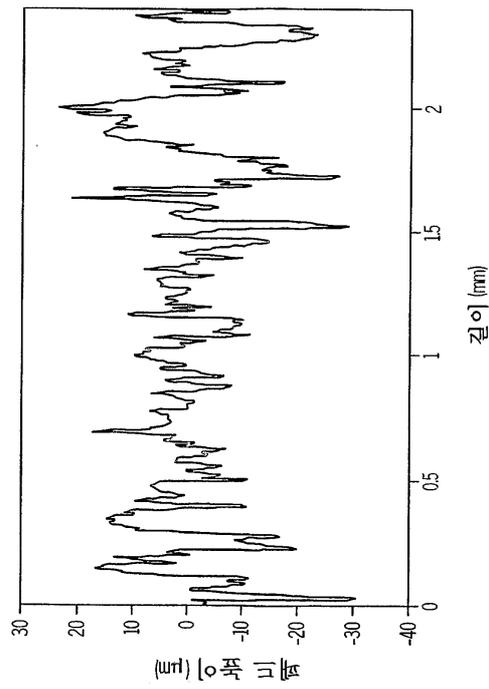
도면5a



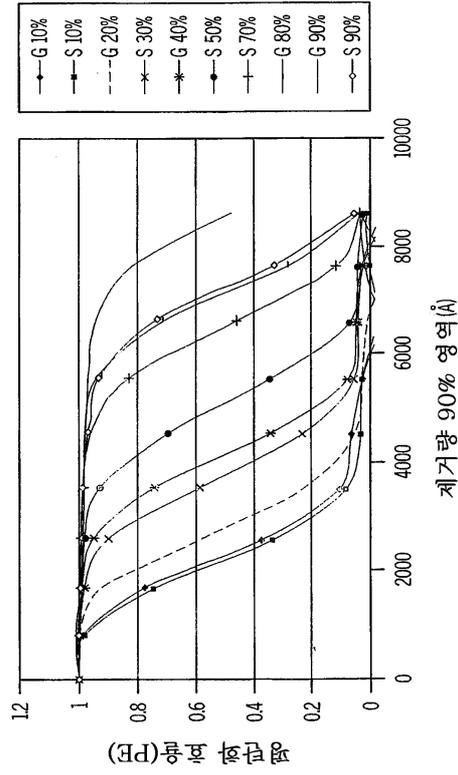
도면5b



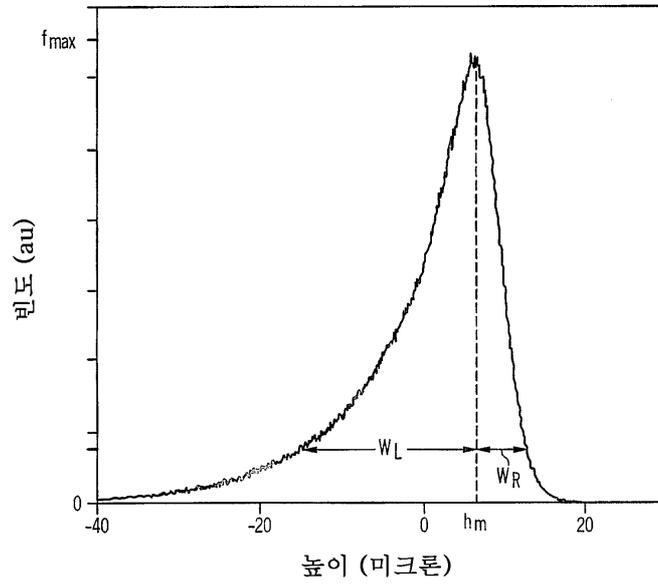
도면5c



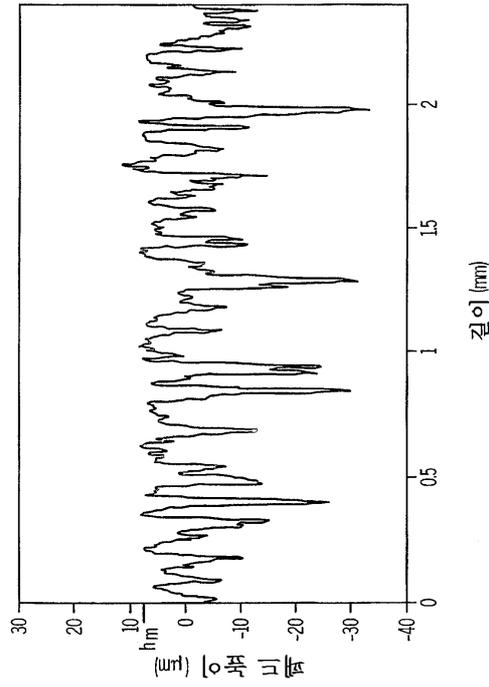
도면6a



도면6b



도면6c



도면7

