

화학 Chemical Mechanical Polishing 공정변수의 이해



김상웅

아남 반도체(주) FAB 사업부 차장

1. 서 론

CMP란 화학적으로 연마하고자 하는 물체의 표면을 연화시키고 연화된 표면을 기계적인 힘으로 제거하는 작업이다. 기본 공정 절차는 캐리어 암이 진공으로 웨이퍼를 잡고 이를 1차 연마장소에서, 캐리어 암과 연마판 간에 슬러리가 투입되고, 캐리어 암과 연마판 간에 기계적인 연마가 이루어진다. 1차 연마된 것은, 2차 연마장소에서 미세 연마하게 되고 미세 연마된 웨이퍼는 초순수 내에서 세정하게 된다. CMP는 앞서 말했듯이 높은 제거속도를 가지면서 안정된 균일도를 얻기 위하여 패드 및 슬러리의 선택뿐만 아니라 캐리어 암과 연마 판의 속도, 연마판의 온도, 연마하는 동안의 압력 그리고, 패드 콘디션하는 방법 등과 같은 공정 조건들을 고려하여야 한다. 따라서 이러한 요소들에 대한 설명과 이것들이 제거 속도 및 particle 발생과 같은 공정에 어떠한 영향을 미치는 가를 알아보기로 한다[1, 2].

2. 본 론

CMP시스템의 가장 중요한 요소중 하나는 연마 패

드이다. 불행하게도 패드는 가장 이해하기 힘든 요소 중에 하나이다. 연마 패드 구조 및 재료 성질은 연마 속도 및 CMP 공정의 평탄력에 중요한 역할을 한다. 그러나 패드 구조 및 성질은 대부분 경험적으로 이루어졌다. 사실, 패드 성질이 가장 중요하다고는 아직도 분명치 않다. 패드 특성 및 연마 능력 사이의 직접적인 상관관계는 현재에도 활발히 연구되고 있다. 패드의 수명에 따른 성능을 유지하는 것이 컨디션닝 기술이다. 이러한 기술은 경험적으로 이루어 졌으며 앞으로 OEM 재료의 개발은 계속해서 요구될 것이며 CMP공정에 패드가 얼마나 영향을 줄 것인지, 패드 특성이 연마 능력에 어떻게 중요하는지등을 이해하는데 있다. CMP의 기계적인 요소를 좌우하는 요소로서 패드의 재질과 웨이퍼를 잡고 있는 캐리어 암과 연마 패드의 회전 운동이 있다. 이 중에서 패드의 재질은 그 특성상 종류에 따라 막이 제거되는 속도가 다르고 particle 발생 여부도 다르다. 그림 1과 같이 크게 나누어서 부드러운 것과 딱딱한 것이 있는데 부드러운 패드는 urethane이 함유된 펠트 패드이고 딱딱한 패드는 다공성의 우레탄 패드이다[3, 4].

앞서 말한 것처럼 부드러운 패드는 연마 균일도가 좋고 쿠션이 좋은 반면에 높은 압력으로 연마할 때 전체적인 평탄도는 좋지 않다. 반면에 딱딱한 패드는

좋은 평탄도를 얻을 수 있지만 연마 균일도가 나쁘기 때문에 사용하고자 하는 막의 종류 및 용도에 따라 다르게 선택될 수 있다. 현재 산화막 연마용으로는 이 두 가지를 겹쳐서 이중 패드를 사용한다. 즉, 상층에는 딱딱한 패드를 사용하고 하층에는 부드러운 패드를 사용하여 서로의 단점을 보완하고 있다[5].

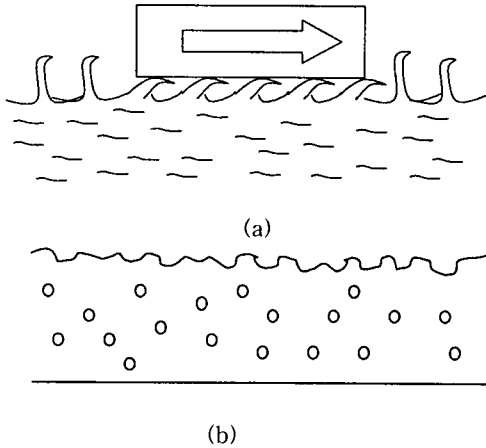


그림 1. 부드러운 패드(a)와 딱딱한 패드(b)의 단면적

2-1-1. 패드 물질과 성질

일반적으로 연마 패드들은 경도를 조절하기 위해 Filler 물질을 가진 Matrix Of Cast Polyurethane Foam이나 Polyurethane Impregnated Felts로 구성되어져 있다. 폴리우레탄은 Urethane Chemistry가 패드 성질이 필요한 특별한 기계적 성질들을 생성시킬 수 있기 때문에 유용하다. Jairath Et Al.은 다음과 같이 Pad 물질 제조를 서술하고 있다. 폴리우레탄은 일반적으로 촉매와 발포제의 존재하에 Polyol로 알려진 Hydroxylated-Terminated수지와 Di-Isocyanate사이 반응으로 형성된 Condensation Polymer(축합반응 폴리머)이다. 이 반응의 결과로써 생긴 우레탄 Foam은 원래 폴리머의 성질들로부터 부분적으로 그리고 Foam제조하는 동안 형성된 Cell Matrix로부터 부분적으로 기계적인 성질들을 만들게 하는 Cellul Ar Polymer이다. Di-Isocyanate와 Polyol은 전통적인 폴리머의 성질들을 말해준다. 게다가 Filler 물질은 Foam의 기계적 성질들을 향상시켜주기 위해 폴리머에 더해주는 경우도 있다.

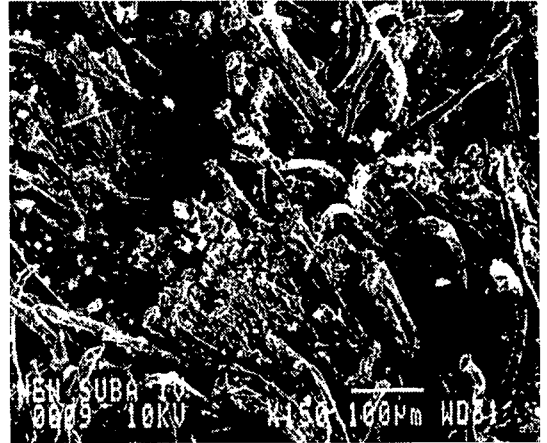


그림 2. RODEL사SUBA4 패드 SEM 사진

그림 2는 패드 물질의 단면을 보인 것이다. 비중은 Pad Porosity를 나타낸다. 비중이 낮으면 낮을수록 Porosity는 더욱 높다. Porosity는 중요한데 그 이유는 (1) Pore는 슬러리의 이동을 용이하게 한다. (2) Pore의 벽면들은 Polish Site로 부터 반응 생성물 제거를 용이하게 한다. Hardness(경도)와 Compressibility(압축성, 압축률)는 실질적으로 평탄도에 영향을 준다. 패드가 더욱 단단할수록 덜 압축될수록 패드는 덜 변형되고 웨이퍼 표면이 낮은 지역에서 (표면에서) 물질 (CMP에서 제거하고자 하는 물질)을 덜 제거할 것이다. 실제로 수많은 연구자들이 패드가 단단할수록 더욱 잘 평탄화된다고 증명하고 있다. 그러나 많은 경우에 "Hard" Pad가 무엇을 의미하는지 명확하지가 않다. 특히 패드의 경도를 결정하는데 측정되어져야 할 패드 변수는 무엇인가?

2-1-2. 패드의 기계적인 특성

일반적으로 Shear Modulus Of Elasticity(탄성 강성률, 층 밀리기 탄성율)가 패드의 평탄화 능력을 가장 잘 서술하는 것으로 알려져 있다. 큰 Shear Modulus, G를 가진 패드는 연마하는 동안 Shear Stresses(전단 응력)을 따르지 않기 때문에 웨이퍼 표면에 작용하지 않을 것이다. 패드물질은 탄성(Papid)과 Viscoelastic(점탄성, 시간에 의존)변형을 나타낸다. 패드의 점탄성은 다음 과정에서 평탄화에 영향을 준다. 패드가 웨이퍼 표면에 놓여질 때 웨이퍼의 높은 지역(High Area)과 낮은 지역(Low Area)을 따라서 이동한다. 높은 지역과 접촉하고 있을 때 패드는 그것

의 Modulus에 따라 압축될 것이고 Preston식에 따라서 높은 지역에서 제거하는 데 압력을 가할 것이다. 패드가 높은 지역에서 낮은 지역으로 이동할 때 패드는 탄성적으로 팽창되며 그리고 그것의 점탄성유에 의해 어떤 비유로 결정된다. 패드가 낮은 지역으로 팽창하는 정도가 크면 클수록 패드가 그 지역을 누르는 압력은 더욱 더 커질 것이다. 높은 지역과 낮은 지역사이의 연마율의 큰 차이를 유지하기 위해서는 높은 지역과 낮은 지역사이의 압력차이를 증가시키는 것이 필요하다. 따라서 패드가 낮은 지역을 무시하면서 팽창하는 정도를 최소화시키는 것이 필요하다[6].

2-2. 슬러리

패드의 재질과 함께 슬러리의 선택은 연마하려고 하는 막의 종류에 따라 다르게 선택된다. 앞서 살펴본 바와 같이 슬러리의 PH 정도에 따라 막의 화학 반응 정도가 다르므로 알맞은 PH의 슬러리를 선택하는 것이 필요하다. 또한 슬러리 속의 particle의 입자 크기에 따라서 연마되는 정도가 다르다. 즉, 다결정 실리콘용 슬러리는 입자가 크고 약 알칼리성이고, 산화막용 슬러리는 입자가 작고, 약 알칼리인데 반하여 금속용 슬러리는 강한 산성의 슬러리를 사용한다. 또한 다결정 실리콘용 슬러리는 입자 형태가 콜로이드 형태로 존재하는 반면, 산화막용 슬러리는 흙형태인 슬러리를 사용한다. 그림 3에 슬러리 PH와 particle 크기에 따라 막의 제거 속도를 나타내었다.

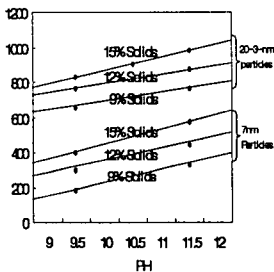


그림 3. 슬러리 PH와 미립자 크기에 따른 막의 제거율

2-3 패드컨디션닝(Pad conditioning)

패드 surface roughness와 표면 평탄화는 연마율과 planarity를 결정하는데 중요한 역할을 한다. Surface roughness와 porosity는 패드 표면의 슬러리 흐름, 표면의 패드 접촉면, 표면으로부터 물질

의 흐름을 결정 한다. 따라서 패드 컨디션닝은 pad surface roughness와 porosity를 유지하는데 중요하다. 적당한 패드의 수명을 유지하도록 한다. 연마하는 동안, 패드의 표면은 plastic deformation될 수 있고, 이에 따라 표면은 glazing현상과 같이 smoother 해지고 기공은 패드 물질로 차게 된다.



그림 4. (Rodal's Suba IV 패드) 연마후의 grazed 패드 표면

그림 4는 glazed pad의 표면을 보여주고 있다. Glazing은 때로 연마율을 감소시키기 때문에 바람직하지 않은 현상이다.

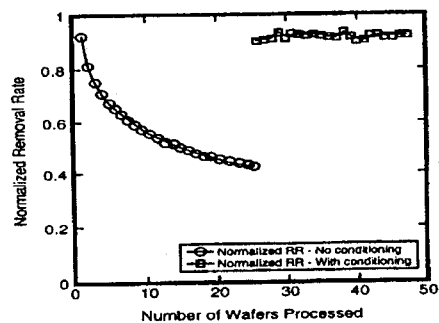


그림 5. 패드 glazing과 콘디션닝이 연마율에 미치는 영향

그림 5은 시간에 따른 연마율에 대한 패드 glazing의 효과를 나타낸다. 연마율은 표면 컨디션닝 기술

에 의해 refresh될 때까지 시간에 따라 n의 log 함수적으로 감소한다. 컨디션닝 기술은 보통 표면의 porosity와 roughness를 유지하도록하기 위하여 패드 위에서 행해진다.

이러한 기술은 변형된 패드 물질을 제거하기위해 패드 표면에 마찰이 되도록 슬러리가 함께 사용된다. 대부분의 연마 장비는 패드 컨디션닝이 가능한 abrasive wheel이 달린 연마 암(arm)을 포함하고 있다. 패드 컨디션닝은 매장의 웨이퍼를 연마하는 사이 또는 연마하는 동안 in-situ로 할 수 있다. 컨디션닝시 conditioning wheel에 붙은 연마 입자가 슬러리 내로 들어가거나 웨이퍼 표면에 scratch가 나지 않도록 주의해야한다. 웨이퍼 컨디션닝과 더불어 추가적으로, 패드 break-in 기술은 패드가 먼저 사용되기 전에 종종 실행된다. 패드 break-in은 생산 웨이퍼 공정 전에 패드의 안정적인 수행을 위하여 희생 웨이퍼(dummy wafer)와 함께 진행하며, 보통 컨디션닝때 수행된 것과 같은 기술을 사용한다. Surface roughness를 맞추기 위해, 또한 패드 break-in은 wafer absorption과 같은 pad property와 같은 것을 안정적으로 만들어 준다.

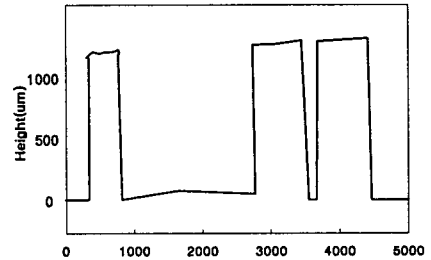
2-4. 캐리어 film

웨이퍼를 연마할 때 웨이퍼와 캐리어 암 사이가 완전히 밀착되지 못하면 막의 평탄화에 나쁜 영향을 줄뿐만 아니라 웨이퍼가 충격을 받아서 심할 경우 깨질 염려가 있다. 따라서 이러한 문제를 보완하기 위하여 캐리어 암과 웨이퍼 사이에 부드럽고 다공성의 폴리머로 만든 패드를 붙이는데 이것을 패드 마운팅이라고 한다. 웨이퍼는 원리 완벽하게 평탄하지 못하고 약간 휘어져 있기 때문에 웨이퍼를 완전하게 밀착시키고 또한 웨이퍼가 받는 충격에 대한 완충 역할을 하기 위해 사용하는 기준 판에 약간의 곡률이 필요하다. 캐리어의 모양에 따라 제거속도가 다르므로 캐리어의 곡률은 연마하고자 하는 막에 따라 다르게 선택될 수 있다. 또한 캐리어 마운팅 할 때 사용되는 패드를 부착할 때 사용하는 접착제는 열에 민감한 접착제와 압력에 민감한 접착제가 있는데 전자를 BSA, 후자를 PSA 라고 한다. 지금까지는 주로 패드로써 '40 Film과 접착제로써 HSA를 사용하고 있는데 이것은 한 캐리어에 마운팅 하는데 수시간이 걸린다. 따라서 현재는 R-200/T-3 필름과 UTA 라고 하는 것을 점차적으로 사용하고 있다. 이것은 마운팅하는데 수분 이내로 가능하고, '40 Film'에 비해서 막이 균일하므로 웨이퍼가 받는 충격을 완화시키는 면에서

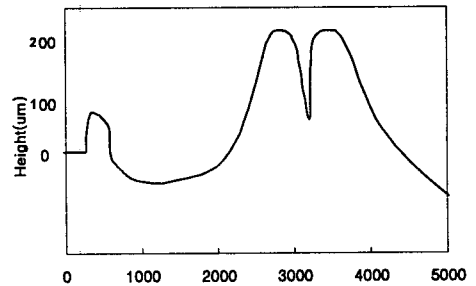
유리하다. 따라서 패드 마운팅시 이러한 점을 고려하여야 한다[7, 8].

2-5. 패턴 요소

CMP 공정은 지금까지 열거한 요소들에 의해서도 제거속도나 균일도가 영향을 받지만 연마되는 막의 패턴의 형상에 따라서도 상당한 차이를 나타낸다[9].



(a) before polishing



(b) after polishing

그림 6. 연마 전과 후의 test 패턴 프로 파일의 비교(a, b)

그림 6은 다른 폭을 갖는 배선의 연마 효과를 나타내었다. 왼쪽 패턴은 오른쪽의 패턴 보다 좁다. 또한 오른쪽 패턴 사이에 좁은 갭이 형성되어 있다. 연마 후 좁은 폭의 패턴은 넓은 것보다 훨씬 연마가 많이 되었다. 한편, 좁은 갭은 전혀 연마되지 않았지만 넓은 갭은 어느 정도는 연마되었다. 이것은 패턴의 폭에 따라 연마 압력이 불 균일하게 작용하므로 결과적으로 제거속도의 불 균일이 생긴다. 따라서 이와 같은 차이가 생기게 되었고, 그림 18에서 알 수 있듯이 국부적으로 높은 아벽을 받는 부위가 둥글게 연마

되었다. 따라서 패턴에 의한 영향은 다음과 같이 요약된다. 첫째, 격리된 패턴은 매우 빠르게 연마되므로 가급적 설계에서 피해야 한다. 둘째, 패턴의 모서리 부근의 제거속도가 빠르다. 셋째, 크고 솟은 패턴, 높은 부분의 패턴은 면적에 반비례하는 제거속도를 가진다. 각각의 소자에 따라서 패턴의 높이, 모양, 폭 등이 다르므로 원하는 평탄화를 얻기 위하여 연마 조건들은 다르게 선택되어야 할 것이다.

3. CMP 공정에 미치는 공정 변수

여러 가지 물질에 대한 CMP 공정과 적용은 매우 복잡하고 많은 변수가 있다. 주로 화학적 또는 기계적 요소에 영향을 미치게 되는데 이 한 변수를 화학적 변수 또는 기계적 변수로 엄격하게 나누는 것은 위험하다. 화학적 또는 기계적 요소들은 서로 뗄 수 없으므로 변수들을 기계적요소 또는 화학적인 요소에만 영향을 미친다고 나열 할 수가 없다. 예를 들면 속도와 압력을 기계적인 변수로만 간주 할 수 있다. 그러나 속도와 압력에 변화를 주는 것은 웨이퍼 위에서 슬러리 이동에 영향을 줄 뿐만 아니라 패드와 웨이퍼 사이의 fluid layer 두께에도 영향을 미친다. 슬러리 이동과 fluid layer 두께는 화학 반응 물질과 생성물의 이동에 영향을 미쳐서 결국에는 반응 속도에 영향을 준다. 압력은 abrasive size와 shape, pad 성능, film stack, wafer 굴곡의 효과에 영향을 미친다. 이장에서는 이러한 변수를 나열하고, 어떤 변수가 어떻게 CMP 공정과 최종 결과에 영향을 주는가를 서술하였다[10].

3-1. 연마율(polishing rate : nm/min, um/min)

연마율은 연마 시간으로 제거된 박막 두께를 나눈 것이다. 연마율이 높으면 공정 시간이 짧아지므로 바람직하다. 그러나 너무 높으면 공정을 제어하기가 힘들다. 단차를 가진 패턴 웨이퍼가 단차가 없는 웨이퍼보다 연마율이 높다. 이는 패턴을 가진 웨이퍼가 패턴이 없는 웨이퍼 보다 패드 접촉면적이 적어 단위 면적당 압력이 크기 때문이다.

3-2. 하지 박막의 연마율(Polish Rate of Underlying films)

한 박막의 연마율과 그 아래 하지 박막의 연마율 사이의 비(selectivity)가 크면 금속 연마시 ILD 박막의 polish Rate가 낮아서 과도하게 연마하여도 ILD

두께가 얇아지는 것을 방지할 수 있으므로 바람직하다.

liner film(meter과 ILD 사이의 thin film 으로 adhesion을 증가시키거나 metal이 ILD로 diffusion 되는 것을 막는다.)에 대한 높은 selectivity로 ILD의 낮은 selectivity를 보충하기도 한다. 그러나 가장 바람직한 시나리오는 ILD에 높은 selectivity를 갖고, liner film에 대해서는 낮은 selectivity를 갖는 것이다. 이 방법에서는 liner film을 main CMP 공정에서 제거할 수 있어 차후로 liner를 제거 하는 공정을 들 필요가 없다.

3-3. 평탄화 율(planarization Rate)

Topography가 있는 웨이퍼 표면을 요구하는 수준까지 줄이는데 걸리는 시간이다.

옥사이드 또는 ILD를 CMP 할 때 최종 목적은 단순히 물질 제거가 아니라 표면 평탄화이기 때문에 평탄화율은 연마율 만큼이나 중요하다.

3-4. 패턴 형태의 의존성(Feature Size Dependence)

Via와 Trench을 형성하기 위해 ILD위에 있는 metal overlayer을 평탄화 할 때 CMP가 패턴에 의존한다는 것은 알려졌다. 패턴 의존성은 연마율(polish rate), 평탄화율(planarization rate)과 표면과 feature 가장자리 손상등에 영향을 미친다. 소자를 디자인 하거나, 구리 내부 연결 물질, 텅스텐 내부 연결 물질 채움, 알루미늄 패턴 형성 하고 절연물을 증착한 후 절연막 평탄화를 위한 공정을 최적화하기 위해서 패턴 크기의 의존성을 계산하여 최소화 하여야 한다. 패턴 형태의 의존성은 패드의 탄성과 압축성, 연마판의 속도와 부하, 연마제의 크기와 농도, 웨이퍼 굴곡 등에 따라 영향을 미치는 주요 변수이다.

3-5. 표면의 양질(Surface quality)

표면 품질은 수율과 내부연결물질의 신뢰성을 가능하게 한다. 거친 ILD 박막은 Low breakdown strength와 high leakage에 민감하다. 거친 금속 박막은 부식과 electromigration에 민감하다.

CMP 공정의 기계적, 화학적 요소의 균형을 맞추어 Roughness을 최소화 시켜야 한다. Particle density나 결함도가 높으면 칩 수율이 낮은 것은 당연하다. particle density은 효과적인 CMP 후 세

정 공정과 슬러리 구성 성분을 잘 선택 함으로써 줄일 수 있다. 금속 박막의 신뢰성을 보장하기 위해서는 높은 수준의 부식 저항이 요구된다.

CMP 공정 진행전 또는 후에 금속 위에 보호 박막(passivating film)을 형성시켜, 높은 부식 저항을 얻을 수 있다.

3-6. 표면 손상(Surface Damage)

CMP하는 동안에 ILD 막과 금속막에 발생하는 손상은 수율과 내부 연결 물질의 신뢰성을 줄인다. 구조적인 손상은 scratch, 박막 표면에서 적층된 박막 사이로 불순물 침투, 박막의 화학적 요소와 물리적 구조의 변화등 일으킨다.

전기적 손상(Electrical damage)은 강력한 손상에 서 기인하며, ILD내에서 일어나는 낮은 브레이크다운(Low breakdown), 높은 누설전류(high leakage current), 비정상적인 C-V 작용을 포함하며, 이러한 영향들은 불순물 때문에 발생한다. 금속 박막에서는 박막의 electromigration 저항의 감소, 장벽 박막(barrier film)의 퇴화(degradation) 등은 기판이나 ILD에 금속 불순물이 침투하기 때문에 발생한다. 연마된 박막의 stress는 증가하므로 내부 연결 물질과 ILD의 신뢰성에 영향을 미치기 때문에 주의 해야 한다.

3-7. 슬러리 화학 작용(Slurry Chemicals)

슬러리 화학적 연마제는 다양한 물질을 연마할 수 있다. 각각은 slurry와 화학적 요소, 에치율에 영향을 미친다. 그러나 화학 반응은 박막, 패드, 연마제의 표면의 기계적인 특성을 변화시켜 결국에는 기계적인 요소에까지 영향을 미친다.

3-8. 수소 이온 농도(PH)

수소이온 농도의 $-\log$ 으로 정의 된다.

$$PH = -\log(H^+)$$

PH는 용해도, 폴리싱된 표면의 용해도, 연마되어 제거된 물질의 용해도, 폴리싱된 물질 위에 표면 박막의 막 형성, 연마액의 안전성과 연마의 효과에 영향을 미친다. 어떤 패드 재료는 슬러리의 일정한 PH 범위에서 영향을 받는다. 또한 연마판과 패드 사이의 접촉력도 어느 일정한 PH 범위에서 영향을 받는다[11].

3-9. Buffing Agent

Buffing agent은 시간이 지나도 슬러리의 수소 이온 농도(PH)을 일정하게 해주는 역할을 한다. Buffing agent가 없으면 표면 반응에 의해 수소이온이 생성, 소멸 되므로써 웨이퍼 표면에서 심하게 달라질 수 있다.

3-10. 산화제(Oxidizers)

금속 CMP에서는 대부분의 화학반응은 전기화학(electrochemical)적 이다. Oxidizer는 금속 표면과 반응하고, 산화-환원 반응을 통하여 금속의 산화 상태를 증대 시킨다. 결국에는 금속을 용해시키나 금속 위에 표면 박막을 형성한다. 텅스텐과 구리 모두 연마율은 산화, 환원 반응의 비에 비례하는 것처럼 보인다.

3-11. complexing Agent

Complexing agent는 연마되고 있는 막과 연마된 물질의 용해도를 증가시켜 연마를 증가시킨다.

표면에서 기계적인 제거 속도와 슬러리의 용해 속도 사이의 균형을 complexing Agent를 사용하므로 달성할 수 있다. 용해도가 너무 낮으면 표면에 재 증착을 해야 하고 용해도가 너무 높으면, 물질 제거가 등방성이 되어 평탄화가 부족하게 된다.

3-12. 화학 농도(concentration of chemical Species:mole/liter)

반응속도는 반응물질의 농도와 반응 생성물의 농도에 의해 결정된다. 슬러리 반응 물질을 제공하고 반응 생성물을 제거 함으로 슬러리의 화학물 농도가 증가함에 따라 반응속도도 증가한다.

전체 CMP 공정은 몇 개의 단계로 이루어지며, 몇 개의 다른 반응으로 구성되어 진다. 어떤 공정조건에서 여러 단계중에서 하나의 단계가 전체 CMP 연마율을 제한할 수 있다. 어떤 한 반응이 연마율을 제한하는 단계가 아니면, 그 반응 속도를 변화시켜도 연마율에는 영향을 미치지 않을 것이다. 오직 반응 속도를 제한하는 단계의 반응만이 연마율에 영향을 미칠 것이다.

3-13. 점성도(Viscosity:poise(=0.1 pascal sec))

점도는 슬러리가 얼마나 빨리 흐르게 하는가를 결정한다. 정한다. 물질의 점성이 높으면 흐름을 방해한다. 슬러리의 점성이 높으면 웨이퍼 표면에서 반응 물질과 생성물의 이동이 나빠진다. 점성은 슬러리의 이동과 웨이퍼-패드 경계면의 윤활 작용에도 영향을 미친다.

3-14. 절연 상수(Dielectric Constant)

한 매개체 (medium)에서 모든 정전기적 상호작용의 양은 그 매개체의 절연 상수에 의해 결정된다. 전하와 관련된 요소들은 절연 상수에 의해 영향을 받는다.

3-15. 슬러리 연마제 입자(Slurry Abrasive)

슬러리 연마제 입자는 CMP의 기계적인 반응을 제 공하며, 연마제 입자 크기와 농도는 기계적인 연마에 영향을 받는다. 그러나 연마제는 화학적인 영향을 미친다. ceria 연마제 입자로 유리를 폴리싱할때에 ceria(CeO₂)는 유리 표면에서 화학적 결합을 형성하고 alumina는 PH 5~8에서 산화박막의 표면 결합을 발생시킨다.

3-16. 연마제 입자 형태(Abrasive Type)

silica(SiO₂)는 산화막 연마제에 주로 사용되고 Alumina (Al₂O₃와 silica(SiO₂)는 금속 연마제에 사용되고 Ceria(CeO₂)와 Titania(TiO₂), magnesium oxide(MgO), zirconia(ZrO₂), rouge (Fe₃O₄), hafnia(HfO₂)등도 연마제 화합물로 가능한 물질이다.

3-17. 연마제 입자 크기(Abrasive Size : 단위(mm))

연마제 입자 크기는 연마율과 표면 손상에 영향을 미친다. 연마제 크기의 분포 또한 표면 손상에 큰 영향을 미친다. 연마제 크기가 분포가 일정하지 않으면 scratch을 증가시킨다.

3-18. 연마제의 경도(Abrasive Hardness)

연마제 경도는 효율적인 연마를 결정한다. 경도가 크면 클수록 연마되는 양도 많다. 단단한 연마제는 표면 손상을 일으킬 수 있다.

3-19. 연마제 농도(Abrasive Concentration : weigh percent(wt % in liquid volume)

연마제의 농도는 표면을 연마하는 질삭 수를 결정한다. 일반적으로 연마제의 농도가 높을수록 큰연마율을 얻을 수 있다.

3-20. Isoelectric point(PH)

IEP은 연마제 표면이 중성 전하일때의 PH로 정의한다. 유리를 연마할때 IEP의 역할이 몇 차례 발표되었다. 금속막 표면은 보호되고 표면에 절연층을 형성하고 연마에 의해 제거되기 때문에 금속막을 연마할때 이 개념의 중요성이 필요가 있다.

3-21. 연마제 현탁물의 안정성(Stability of the Abrasive Suspension)

현탁액에서 연마제들은 서로 뭉쳐 더 큰 미립자를 형성한 다음, 현탁액의 안정성은 현탁물이 가라앉기 전에 뭉쳐진 미립자가 현탁액에서 얼마나 오랫동안 떠 (suspension)있는지를 말한다. 좋은 안정성은 최소의 뭉침과 균일한 미립자 분포를 나타낸다. 균일한 미립자 분포는 표면막 손상을 최소화하는데 바람직하다.

3-22. 슬러리 흐름 정도(Slurry Flow Rate : 단위 liter /min, ml/min)

패드 중심에 슬러리가 전달되는 속도, 슬러리 흐름 정도는 화학물질과 연마제가 얼마나 빨리 패드로 이동하고, 반응 부산물과 사용된 연마제가 패드로 주입되어 윤활 특성에 어떻게 영향을 미치는지에 관여한다.

3-23. 온도(Temperature : 단위 ℃)

CMP는 맞는 공정의 일부분이기 때문에 온도를 상승시키는 것이 바람직하다. 연마판의 온도는 물로 순환시키거나, 슬러리에 열을가해 유지하고, 패드에서 온도를 측정하여 어느정도까지 온도를 조절할 수 있다. 온도는 반응속도에서 중요한 영향을 미친다. 표면 온도의 급격한 변화는 박막의 기계적 특성에 영향을 미친다.

3-24. 압력(Pressure : 단위 Kpa psi)

압력이란 웨이퍼에 걸린 하중을 웨이퍼 면적으로 나눈 값이다. 표면이 거칠고, 단차를 가지고 있다면 접촉면은 geometric면보다 작아서 표면이 균일해질 때 까지 압력은 증가할 것이다. 기계적인 연마속도는 압력에 비례하며 평탄화에 매우 중요한 영향을 미친다.

3-25. 패드 속도(Pad Velocity : 분당 회전수 (rpm))

웨이퍼가 패드 속에서 벗어나서 회전한다면(일반적이지만), 패드 속도는 웨이퍼에 대한 패드의 평균 상대속도이다. 기계적인 연마 속도는 패드 속도에 비례한다. 패드속도는 웨이퍼를 가로지르는 슬러리 이동에 영향을 미치므로 반응물과 생산물을 이동시킨다.

3-26. 웨이퍼 속도(wafer velocity : 분당 회전수 (rpm))

웨이퍼 속도는 평균 속도에 영향을 미친다. 패드와 웨이퍼의 회전 속도가 일치한다면 웨이퍼의 모든 지점에서 평균 속도는 일치하다.

3-27. 마찰력과 윤활력(frictional force와 lubrication)

마찰력은 패드가 표면과 얼마나 많이 접촉하는가를 측정하는 것이고 연마 방식을 결정하는데 중요하다 마찰력과 윤활력은 연마하는 동안 생성된 열과 온도에 영향을 준다.

3-28. 패턴 도형(pattern geometries)

패턴 크기와 패턴 밀도(feature size와 pattern density)는 국부적인 압력 차이를 만들어 feature size에 따른 연마율을 형성한다. 작은 feature은 큰 것보다 빨리 연마되고 pattern density가 낮은 것은 높은 것 보다 더 빨리 연마된다. feature size와 pattern density는 ILD 연마시에 평탄화율과 metal 연마시에 metal dishing과 ILD erosion에 영향을 미친다.

3-29. 연마 패드(polish pad)

연마 패드는 실제적으로 매우 외부적인 변수에 영향을 미치며 내부적인 변수 공정 변수와도 반응한다.

3-30. 패드 기질(pad fiber structure/height)

표면의 패드 섬유는 연마되고 있는 웨이퍼 표면과 반응하는 패드 일부분이다. 섬유 구조와 높이는 슬러리와 반응 생성물 이동과 표면에서 국부적인 압력의 차이에 영향을 미친다.

3-31. 패드 기공 크기(pore size)

패드 섬유는 마이크로론 기공(micropore)의 형태로 되어 있다. 이 기공들은 슬러리 부산물 이동에 결정적인 역할을 한다. 기공 크기가 클수록 이동의 효과도 크다. 그러나 큰 기공은 패드의 기계적인 특성에 영향을 미친다.

3-32. 패드 압축도(pad compressibility)

패드 압축도는 패드가 웨이퍼 표면을 어떻게 따라가는가에 영향을 미친다. 평탄화를 위해서는 패드는 낮은 지역과 접촉해서는 안되고 일치해서는 안된다. 그래서 낮은 압축도가 평탄화를 위하여 바람직하다. 좋은 연마율의 균일도를 얻기 위해서 패드는 웨이퍼 전면에 걸쳐 균일하게 접촉해야 함으로 넓은 범위에서 일치(접합)해야 한다. 평탄도와 균일도의 균형을 맞추기 위하여 2층 구조의 패드가 자주 사용된다. 위쪽의 딱딱한 부분은 평탄도를 좋게하며 압축한 아래쪽은 넓은 범위의 접합성과 우수한 균일도를 제공한다.

3-33. 패드 탄력성(pad elastic and shera modulus : 단위 mpa or psi)

이 측정 수치는 하중과 회전하에서 폴리싱되고 있는 동안 기계적인 안정성과 유연성을 결정한다. 패드의 점탄성(viscoelastic) 특성은 평탄화 효율과 패턴 모양과 크기에 영향을 결정하는데 중요하다.

3-34. 패드의 경도(PAD HARDNESS)

패드의 경도는 어떤 종류에 대해 단위로 측정되는데 패드 모양을 유지하는 능력을 측정한다. 그래서 경도는 탄력성과 점탄성 특성과 연관된다. 더 딱딱한 패드는 더좋은 평탄화를 이루게 한다. 패드의 경도는 측정하기 어려운 반면 점탄성 형태는 필요한 정보를 제공하여 측정할 수 있다.

3-35. 패드의 두께(pad thickness : 단위 um, mils)

패드 두께는 압축도(compressibility)와 연관이 있다. 패드가 두꺼울수록 더욱 표면을 잘 따른다. 패드의 두께는 평탄도와 균일도를 얻기 위하여 균형을 맞아야 한다. 패드 컨디션은 필수적이고 패드

의 두께를 선택하는 것은 중요한 패드 단가(coo)의 문제가 된다.

3-36. 패드 양각 또는 기공(pad embossing or perforations)

패드 양각이란 그물 망사 형태로 패드 표면에 늘려진 골이다. 패드 기공은 패드에 패인 구멍이다. 양각과 기공은 슬러리 이동을 증가 시키기 위하여 만들어 졌다.

3-37. 패드 컨디션닝(pad conditioning)

패드 컨디션닝 기술은 연마 작업을 안정화 시키고 향상 시킨다.

3-38. 화학적 내구성과 패드의 작용(chemical durability and reactivity of the pad)

패드는 슬러리 용액에 대해 화학적으로 안정적이어야 하며 슬러리, 세정용액, 박막과 반응해서는 안된다.

3-39. 웨이퍼 굴곡(wafer curvature)

웨이퍼 굴곡은 웨이퍼에 작용하는 하중의 분산을 야기 한다. 웨이퍼가 중심에서 볼록하다면 더 많은 하중이 걸릴것이고 중심에서 압력이 더욱 커질 것이다. 웨이퍼 내에서 변하는 패턴 모양 크기의 의존성에 기여한다.

3-40. 웨이퍼 마운팅(wafer mounting)

웨이퍼는 패드 표면에 평평하게 놓아야 한다. 일정하게 웨이퍼가 장착되도록 디자인된것은 웨이퍼 굴곡 또는 웨이퍼 두께 차이 변화를 설명할 수 있다. 웨이퍼 마운팅은 슬러리 이동에 영향을 미친다.

3-41. 박막 스택 구조(film stack)

몇가지 다른 종류의 박막이 각각 위로 증착된다. 맨윗층을 연마할때는 그 아래층 stack의 기계적인 특성에 영향을 받는다. 이것은 하중이나 주기적인 힘을 받는곳에서 만들어지는 폴리머 절연체에 적용된다.

3-42. 박막 인장(film stress : 단위 mpa, psi)

박막의 압축 강도는 용해 속도를 증가 시키는 반면

인장 강도는 용해 속도를 감소 시킨다. 결론적으로 강도의 변화는 연마율의 균일도 영향을 미치고 패턴에 의존하는 스트레스 변화는 평탄화에 영향을 미친다.

3-43. 박막의 경도(film hardness)

연마율은 박막 표면의 경도에 반비례한다. 박막 표면에 기계적인 손상은 박막의 경도와 관련이 있다. CMP하는 동안 creep와 work hardning은 CMP 전의 측정값과는 다를 수 있다.

3-44. 박막 마이크론 구조(FILM MICROSTRUCTURE)

서로 다른 방향성을 지닌 표면들로 구성된 한 표면에 미세 구조는 다른 화학적, 기계적인 형태를 띠게 한다(grain boundary는 화학적 활동이 증가하게 된다.). 박막의 미세 구조와 평탄화는 조심스럽게 관찰해야 한다.

3-45. 웨이퍼 세정 기술(wafer cleaning technique)

웨이퍼 세정은 미세립자(particle)과 오염물질(contamination)에 영향을 미쳐 수율과 신뢰성에 영향을 준다. CMP 공정 발전은 연마 세정이라는 후속 공정을 포함해야 한다.

3-46. 웨이퍼 크기(wafer size)

웨이퍼 지름은 웨이퍼 내에서 상대 속도, 힘 뿐만 아니라 슬러리 주입속도, 연마제의 조성을 결정하는데 큰 역할을 한다. 큰 웨이퍼에 대한 CMP 공정은 웨이퍼에 슬러리를 균일하게 공급해야 하는 문제에 직면해 있다.

4. 결 론

CMP 공정은 반도체 소자 제조 산업에서 필수적인 공정으로 사용되고 있지만 해결해야할 문제점도 매우 많다. 그중 CMP 공정 변수에 대한 CMP 공정 요소를 확보를 해야만 한다. 첫째, 생산성은 향상시키기 위해 즉, 제거속도가 빠르게 하기 위한 패드 및 슬러리의 개발, 혹은 장치적으로 과거에 단일 헤드 형태의 연마체제에서 복수 헤드 형태의 연마체제로 바뀌어가고 있다. 이러한 것들은 높은 제거속도를 만족

하면서도 웨이퍼 내의 균일도를 만족해야 한다.

둘째, 연마 공정이 액상의 슬러리에 의해 연화된 막을 연마판 패드와 웨이퍼와의 기계적인 운동에 의한 마찰로써 연마하는 것이기 때문에 이러한 기계적 운동으로써 발생하는 충격을 고려하지 않으면 안된다. 즉, 패드와 웨이퍼와의 상대운동의 차이라든지 공정 압력의 강, 약에 따라 굽힘이 발생하거나 심하면 막의 균열을 유발할 수도 있다. 따라서 이러한 변수조건에 대한 조심스런 선택이 이루어져야 하겠다. 이러한 변수들의 선택에 앞서 헤드 패드나 슬러리 회사들이 발표하고 있는 재료들의 특성 및 용도에 대해 미리 알아보는 것이 필요하겠다. 앞서 말한 기계적 작용에 의한 충격을 줄이기 위하여 연마판에 부착되는 패드를 이중 형태로 하여 제거속도를 만족시키면서 균일도 향상을 꾀하고 있다.

셋째, 연마후 공정상 발생한 particle에 대한 제어 문제이다. particle은 패드 콘디셔닝에 의해서 발생한 패드 재료 잔재들이 웨이퍼에 남아있는 경우도 있다. 소자의 고집적화에 따라서 particle에 대해서 상당히 민감하다. 이러한 particle의 제거 방법도 많이 연구되어지고 있다. 연마후 세척하는 방법이라든가 패드에 서 발생하는 particle을 줄이기 위하여 보다 나은 패드 재료를 사용하는 것이다. 따라서 연마의 후속 공정으로 세정 공정에 대해 검토가 이루어져야 하겠다.

넷째, 앞서 말한 particle들의 제거를 돕기 위하여 웨이퍼들은 공정후 워터 배쓰속에 잠기게 된다. 따라서 연마되는 막의 수분 흡수에 대한 조사도 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Michael A. Fury, "The early days of CMP", Solid State Technology, May., pp. 81-84, 1997.
- [2] L. M. Cook, Pro. SRC Topical Reserach Conference on Chemical-Mechanical Polishing for Planarization, SRC, Research Traingle Park, NC, proc. vol #P92008, 1992.
- [3] D. Golini and S. D. Jacobs, Appl. Opt., 30, 2761 1991.
- [4] MICHAEL. C. POHL and DUNCAN A. GRIFFPPHS, "The Importance of Particle Size to the Performance of Abrasive Particlein the CMP Process", Journal of Electric Materials, Vol. 25, NO. 10, pp. 1612-1616, 1996.
- [5] F. B Kaufman, D. B. Thompson, R. E. Broadie, M. A. Jaso. W. L. Guthrie. D. J. Pearsons, and M. B. Small, J. Electrochem. Soc., vol. 138. p. 3469, 1991.
- [6] Linda Anthony et al., "THE HOW'S AND WHY OF CHERACTERIZING PARTICLE SIZE DISTRIBUTIONS IN CMP SLURRIES", Electrochemical Society Proceeding, Vol 98-7, pp. 181-196, 1999.
- [7] Brian Thronton et al., "HIGH SPEED POLISHING OF SILICON DIOXIDE THIN FILMS USING LINEAR PLANARIZATION TECHNOLOGY", Proceeding, Vol 98-7, pp. 90-97, 1999.
- [8] Frank G. Shi and Bin Zhao., "A THEORETICAL MODEL FOR CHEMICAL-MECHANICAL POLISHING OF BLANKET WAFERS WITH SOFT PADS", Electrochemical Society Proceeding, Vol 98-7, pp. 109-118, 1999.
- [9] D. A Jones., "Principles and Prevention of Corrosion", Macmillian Publishing Company, New York, 1992.
- [10] Y. S. Obeng et al., "Mechanistic Aspect Of The Relationship Between CMP Consumables and Polishing Characteristics", Electrochemical Society Proceeding, Vol 98-7, pp. 255-270, 1999.
- [11] Yongsik Moon et al., "The Effect of Slurry Film Thickness Variatioin in Chemical Mechanical Polishing(CMP)", AMERICAN SOCIETY FOR PRECISION ENGINEERING, PROCEEDING VOL.18, pp. 591-596, 1998.