

◆특집◆ Eco-Machining

## 반도체 공정에서의 환경친화형 프로세스

정해도\*, 김호윤\*

### Eco-process in a Semiconductor Manufacturing Process

Hae Do Jeong\*, Ho Youn Kim\*

**Key Words** : Eco-process(환경친화프로세스), CVD(화학기상증착), PFC(불소화합물), CMP(화학기계연마), Fixed abrasive pad(고정입자패드)

#### 1. 서론

반도체는 고집적화와 고속도화의 요구에 따라 반도체의 구조와 구성 물질에서 변화가 요구되고 있다. 고집적화에 따라 패턴 구조가 2차원 구조에서 다층배선구조의 3차원으로 변화하였으며, 이로 인하여 종래에 사용되지 않았던 화학기계연마(CMP: chemical mechanical polishing)가 도입되게 되었다. 또한, 배선 폭의 감소로 노광(lithography) 및 식각(etching), 증착(deposition) 등의 기존 공정들도 반도체 구조 형성에 높은 기술을 요구받고 있다. 마이크로 프로세스와 같은 동작속도를 요구하는 반도체의 경우는 그 동작 특성에 맞게 배선과 절연 물질이 기존의 알루미늄(aluminum), 텅스텐(tungsten), 실리콘 옥사이드(silicon oxide)에서 구리(copper), 저유전체 물질(low-k material)로 대체되고 있으며, 이는 메모리 분야로 확대되고 있다.

반도체를 구현하기 위해서는 노광, 식각, 증착,

화학기계연마, 세정(cleaning)과 같은 여러 가지 요소기술이 필요하다. 그러나, 반도체 제조공정과 관련하여 발생하는 물질을 분석하여 보면 상당히 많은 환경저해요소를 지니고 있으며, 실제로 많은 독성가스와 화공약품 및 용수가 사용된다.

일례로, PFC(perfluorocompounds)는 반도체 식각 및 화학기상증착(CVD: chemical vapor deposition)에 사용되는 불소화합물 개스를 말한다. 이러한 PFC는 지구온난화 지수가 CO<sub>2</sub>에 비하여 상당히 높으며 대기 중에서의 분해 기간 또한 상당히 긴 물질이다. 비록 화석연료에 비하여 지구온난화 기여도는 낮으나, 그 사용량이 급증하고 있으므로 대체 물질 또는 처리가 문제점으로 지적되고 있다.

화학기계연마에서 발생하는 슬러리 역시 그 사용량이 상당한 수준에 이르고 있으며, 지금까지의 마이크로 프로세스, CPU와 같은 비메모리 분야에 적용뿐만 아니라 메모리 분야로 확대된다면 그 사용빈도는 급격히 증가할 것이 분명하다. 그러므로, 생산에서 폐기에 이르기까지 환경에 미치는 영향을 최대한 억제한 프로세스 개발이 전 공정에 걸쳐서 활발하게 진행되고 있다.

\* 부산대학교 정밀기계공학과

Tel. 051-510-2463, Fax. 051-518-8442

Email hdjeong@hyowon.pusan.ac.kr

정밀 가공 특히, 반도체 웨이퍼 연삭, 연마, 마이크로 가공 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

## 2. 환경친화 프로세스

반도체 공정에서의 환경친화적인 프로세스개발의 개념은 fig. 1과 같이 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 재활용 기술로는 화학기계연마에 사용되는 슬러리의 재생기술을 대표적으로 들 수 있다. 화학기계연마 후 배출되는 슬러리의 필터링을 통하여 다시 재연마에 사용하는 기술을 말한다. 그리고, 오염 물질 억제 기술은 여러 공정에서 시도되고 있으며, 화학기상증착에서 사용되는 PFC의 처리 기술과 화학기계연마에서의 사용되는 화학액을 감소시킬 수 있는 고정입자패드를 이용하는 새로운 연마 개념이 시도되고 있다. 오염 물질 대체 기술로는 패키징 분야에서 사용되는 Pb-Sn 솔더합금을 대체하는 새로운 물질을 본 논문에서 소개하고자 한다.



Fig. 1 Classification in an eco-process

## 3. 화학기계연마

반도체는 최소 선폴의 감소와 다층배선으로의 구조적 변화로 인하여 칩 내의 평탄화는 더욱더 엄격하게 요구되어 질것이며, 웨이퍼 내의 광역평탄화 역시 수율 측면에서 중요한 인자로 작용되어진다 [1]. 평탄화를 위한 공정은 etch-back, reflow, spin-on glass(SOG), CMP 등이 있다. 이중 화학기계연마는 가장 효과적인 평탄화 방법으로 이용되고 있다. 화학기계연마는 크게 장비, 종점검출 시스템, 세정과 소모품 등으로 구성되어진다. 소모품은 입자와 화학액을 포함하는 슬러리, 폴리우레탄

발포체로 구성되는 패드, 그리고 웨이퍼의 가공 기준점을 확보하기 위한 백킹재로 이루어지며, 가공 재현성을 위한 컨디셔너가 있다. 슬러리는 물질 제거, 선택비, 표면 조도 측면에서 중요한 인자로 작용하며 [2], 패드는 특히 웨이퍼 내의 연마균일성(WIWNU: Within Wafer Non-Uniformity), 웨이퍼 간의 연마균일성(WTWNU: Wafer To Wafer Non-Uniformity)에 영향을 미친다. 웨이퍼가 패드 상에 가압 되면서 동시에 회전하는 구조이며, 입자와 화학액을 포함한 슬러리가 패드 상에 공급되어진다. 연마입자에 가해지는 압력과 상대속도에 의한 기계적 작용과 화학액에 의한 화학적 작용의 조합으로 웨이퍼 표면의 박막 제거가 이루어진다 (Fig. 2) [6].

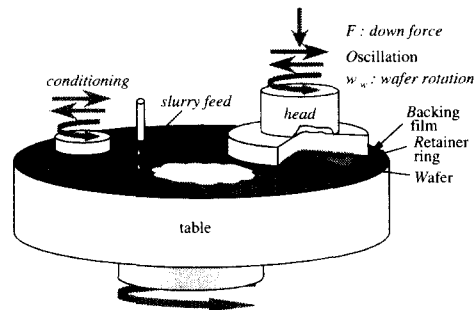


Fig. 2 The schematic diagram of CMP

### 3.1. 고정입자패드

웨이퍼의 극소 및 광역평탄화를 위해 적용되는 화학기계연마는 디싱, 에로전, 스크래치 등과 같은 결함 문제와 높은 공정비 등의 해결되어야 할 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 일반적인 화학기계연마 시 공급되는 슬러리는 30~40%만이 실제 연마에 참가하기 때문에 소모품 비를 증가시키는 가장 큰 요인으로 작용하며 [3], 이는 폐슬러리를 증가시킴으로서 문제점을 야기한다.

화학기계연마 시 발생하는 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 여러 문헌에서 보고되고 있으며, 그 중 하나가 고정입자패드의 적용이다. 고정입자 패드는 슬러리에 포함되어 있는 입자를 패드 상에 형성시키는 것을 말한다. 고정입자패드는 디싱과 에로전과 같은 웨이퍼 상의 결함을 해결하기 위한 한 방법으로 연구가 되고 있으며, 화학기계연마 시 공급되는 액이 슬러리 대신 순수 케미

컬만이 공급된다. 순수 케미컬만 공급됨으로서 작업환경의 개선 뿐만 아니라 배출되는 폐액 처리 비용 또한 상당분 감소할 것으로 예상되어 진다. Fig. 3은 3M에서 발표되고 있는 고정입자패드의 표면을 나타내고 있으며, 하부의 연질패드 상에 세류 옥사이드 입자로 입자층이 형성되어 있으며, 웨이퍼 상의 패턴이 컨디셔닝 역할을 하여 새로운 연마 입자를 화학기계연마에 참여시키게 된다. 이러한 고정입자패드는 현재 STI(shallow trench isolation) CMP에 적용이 검토되고 있다 [4-5,8].



Fig. 3 The surface of a fixed abrasive pad(3M)

또한, 친수성 바인더를 이용하여 자동 컨디셔닝 (auto-conditioning)이 가능한 고정입자패드에 대한 연구도 보고되고 있다 [9]. 친수성 바인더의 메커니즘은 친수성기로 설명할 수 있다. 친수성 기로는 hydroxyl (-OH), carboxyl (-COOH), carbonyl group (-CO) 등이 있으며, 이러한 친수성 기가 물과 접촉하면 물분자는 폴리머 내로 침투하여 기 주위로 모이게 되며, 폴리머 구조는 팽창하게 된다. 물의 침투와 흡수가 어느 이상이 되면 폴리머 구조는 점점 더 팽창하게 된다.

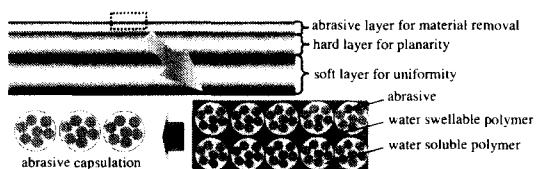


Fig. 4 The fixed abrasive pad using hydrophilic polymer

친수성 폴리머로 구성된 고정입자패드가 물과 접촉하면 친수성 폴리머는 팽창하게 되며, 팽창된 구조는 웨이퍼와의 마찰력에 의하여 쉽게 제거되어진다. 이러한 과정으로 연마입자는 고정 상태에서 자유 상태로 바뀌게 되고 화학기계연마에 참여

하게 된다 (Fig. 4, Fig. 5).

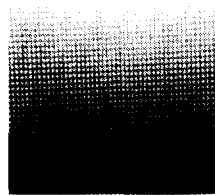


Fig. 5 The surface of a fixed abrasive pad(GnP)

고정입자패드를 중간절연막 화학기계연마에 적용하여, 일반적인 화학기계연마와 비교하였다. 일반적인 화학기계연마로는 IC1400™과 두 종류의 슬러리를 이용하였으며, 로터리 형식의 연마기를 사용하였다. 압력과 상대속도는 일정한 300g/cm<sup>2</sup>과 30T/30H rpm으로 고정하였다. 입자코팅패드의 화학기계연마 시에는 5wt%, pH 10.8의 수산화칼륨 수용액을 공급하였으며, 10000Å 두께를 가지는 PETEOS film wafer를 사용하였다. 그리고, 고정입자패드입자코팅패드에는 컨디셔닝을 적용하지 않았으며, 일반적인 화학기계연마에는 용착다이아몬드 디스크로 웨이퍼 사이에 컨디셔닝을 적용하였다 (Table 1). 화학기계연마 후 PETEOS film wafer의 박막 두께를 52-point cartesian coordinate 방식으로 측정, 평가하였다 [7].

Table 1 Experimental conditions

	CMP using fixed abrasive pad	conventional CMP	conventional CMP
pressure	300 g/cm <sup>2</sup>	300 g/cm <sup>2</sup>	300 g/cm <sup>2</sup>
velocity	30/30 rpm	30/30 rpm	30/30 rpm
pad	fixed abrasive pad (CoO <sub>2</sub> )	IC 1400™	IC 1400™
slurry	KOH solution (5wt%, pH10.8)	fummed silica	fummed silica
supply volume	150 ml/min	150 ml/min	150 ml/min
conditioning	brush type	diamond	diamond

고정입자패드를 이용한 연마제거율은 일반적

인 화학기계연마에 비하여 30% 정도 증가하였다. 이는 산화세륨 입자의 가공성과 고정입자패드에서의 중간절연막 화학기계연마의 적용이 가능함을 보여준다 (Fig. 6). 그러나, 연마 재현성 측면에서는 일반적인 화학기계연마에 비해 다소 넓은 분포를 가졌으며, 이는 연마층 하부에 존재하는 PC 필름과 연마층의 두께 불균일에 의해 발생하는 것으로 생각된다.

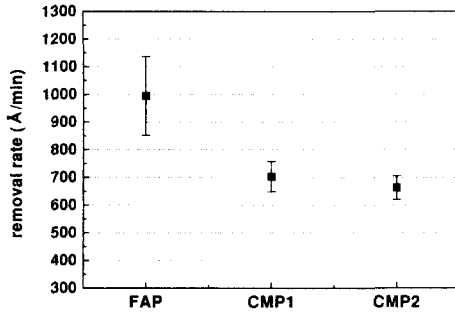


Fig. 6 The removal rate of PETEOS wafer

웨이퍼 전체의 균일가공성은 세 가지 실험조건에서 모두 비슷한 경향을 나타내었다. 이는 고정입자패드에 화학액이 웨이퍼 내부로 균일하게 공급되는 것과 웨이퍼 수율면에서도 양호함을 의미한다 (Fig. 7).

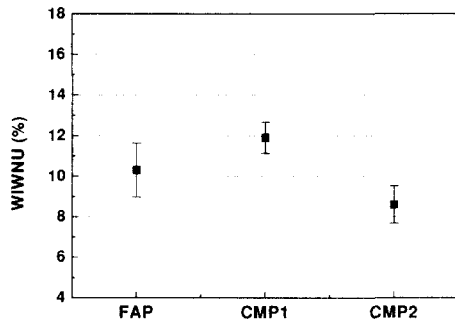


Fig. 7 The WIWNU of PETEOS wafer

고정입자패스에서 연속 컨디셔닝의 여부를 살펴해보았다. 고정입자패드에 초순수만 공급하여 BPSG film wafer 25장을 연속 가공하여서 그 결과로 평가하였다. 가공조건은 200g/cm<sup>2</sup>, 25H/20T rpm 그리고 초순수를 800cc/min 공급하였다. 컨디셔닝

은 사용하지 않았으며, 브러시를 사용한 표면 세정만 적용하였다. BPSG film wafer의 입자코팅패드에서의 연마제거율을 Fig. 8에 나타내었다.

연마제거율이 다소 감소하는 경향을 보이고 있으나, 연마 후반부에 입자층의 부분적인 탈락으로 인한 현상으로 생각되며, 연속 컨디셔닝이 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 이러한 연속 컨디셔닝 특성은 입자코팅패드의 가장 큰 장점으로 생각되며 컨디셔닝으로 인하여 발생하는 문제점들을 상당 부분 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, 스크래치에 의한 결함은 고정입자패드가 해결해야 할 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다 (Fig. 9).

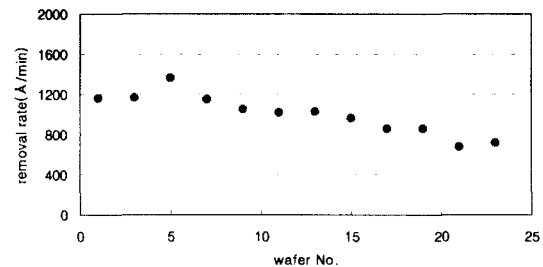


Fig. 8 The removal rate of BPSG wafer

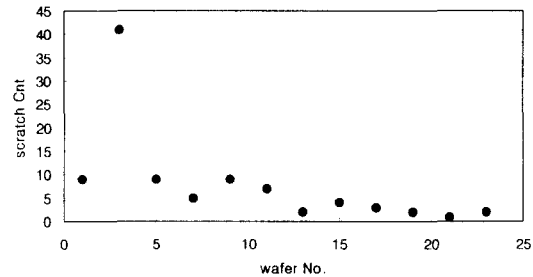


Fig. 9 Scratch after CMP using fixed abrasive pad

### 3.2. 슬러리 처리 및 재활용

화학기계연마에서 환경친화적 프로세스 구현을 위한 다른 연구 방향 중 하나가 슬러리 처리 및 재활용에 관한 것이다.

슬러리는 중간절연막 화학기계연마 경우는 실리카 입자와 알칼리 수용액, 메탈 화학기계연마의 경우는 알루미나 입자와 산성 수용액을 사용하

며, 평균 하루에 24톤의 폐수가 발생한다. 이러한 화학기계연마 분야에 슬러리의 재생 기술을 확립할 수 있다면 슬러리 사용량의 70% 이상의 절감과 생산 단가 또한 상당부분 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 슬러리 재생 시스템은 외국과 국내에서 연구가 진행 중이다.

본 논문에서 소개하는 슬러리 재생 시스템은 뉴영애펜테크(주)에서 개발 중인 시스템에 대한 결과이다. Fig. 10은 재활용에 따른 연마제거율을 나타내고 있다. 재생 사이클이 5회 지속되는 동안 연마제거율이 2000~3000 A/min 정도로 편차가 1000 A/min 정도를 나타내고 있다. Fig. 11은 재생시스템 통과 후 슬러리 첨가량에 따른 연마제거율을 보이고 있으며, 일정 첨가량 이상에서는 기준 연마제거율을 확보할 수 있다는 것을 보여주고 있다.

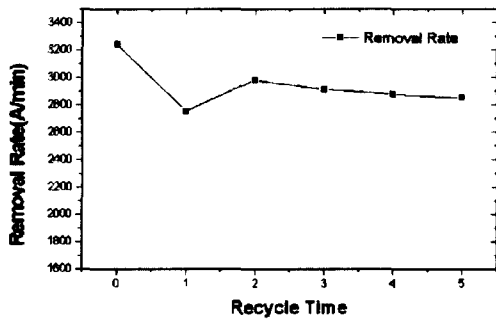


Fig. 10 Removal rate as recycle time

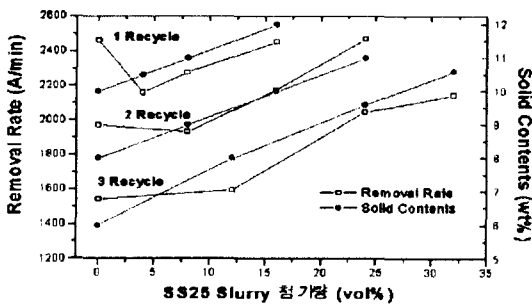


Fig. 11 Removal rate as additional slurry

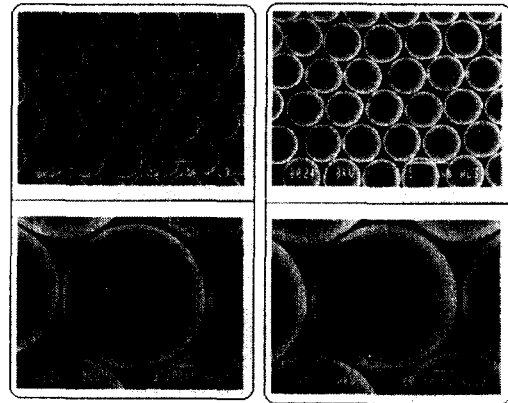
이러한 슬러리 재생 시스템은 100% 재생이 아니라도 상당부분을 재활용할 수 있으며, 이는 폐

슬러리를 줄임과 동시에 화학기계연마에서 가장 많은 소모비를 차지하는 슬러리를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 환경친화적 반도체 기술

화학기상증착에 사용되는 불소화합물 개스는 그 독성 뿐만 아니라 지구 온난화지수가 높은 물질로 그 규제가 진행중인 물질이다. 전 세계 반도체 시장에서는 이를 해결하기 위하여 대체가스 개발 및 회수, 재이용 등의 다각적인 방법으로 연구가 진행중이다. PFC 처리 기술은 여러 가지가 제시되고 있다. 그 중 ICP(inductively coupled plasma)를 적용하여 산화물 에칭 공정등에서 발생하는 SF<sub>6</sub>, NF<sub>3</sub> 뿐만 아니라 CF<sub>4</sub>, F<sub>6</sub>, F<sub>8</sub>을 분해, 제거하는 방식이 소개되고 있으며, 열분해 방식 또한 개발이 진행중이다.

패키징에서는 기존의 Pb-Sn 솔더합금을 대체하는 물질들이 개발되고 있다. Pb-Sn 솔더 합금의 경우 용융점이 낮을 뿐 아니라 젖음성, 연성, 부식저항성 및 전기전도도가 우수하여 현재 광범위하게 사용되고 있다. 그러나, Pb-Sn 솔더 합금은 환경오염을 유발함으로써 저공해, 고기능 및 고강도의 무연솔더합금(Pb-free)으로의 대체가 필요하다. 이러한 대체 물질로 Sn-Ag-Bi-Cu 합금 등이 소개되고 있다(Fig. 12: (에드호텔(주))).



(a) Sn-Ag-Cu (b) Sn-Ag-Bi-Cu

Fig. 12 Lead-free solder ball

## 5. 결론

반도체 산업은 고부가 가치와 첨단 산업의 인식으로 인하여 환경친화적인 측면에서는 크게 고려되지 않았다. 그러나, 전 세계적으로 규제 방안이 마련되고 있으며, 이를 해결하는 것이 급선무로 지적되고 있다. 반도체 공정에서 문제가 되는 공정의 해결은 오염물질의 재활용, 대체, 억제 기술로 나누어지며 이러한 기술 개발은 새로운 기술을 선점할 수 있는 기회가 된다. 본 논문에서는 이러한 기술들을 소개하였다.

I. 화학기계연마에서 고정입자패드를 이용하여 페슬러리의 감소를 도모할 수 있다.

II. 화학기계연마에서 슬러리 재생 시스템을 통하여 슬러리의 재활용 가능성을 확인하였다.

III. 화학기상증착이나 식각 공정에서 발생하는 불소화합물을 플라즈마나 열이나 플라즈마를 이용하여 제거, 분해할 수 있는 기술을 소개하였다.

IV. 패키징 기술에서 납을 포함한 합금을 대체하는 새로운 물질을 소개하였다.

Hollatz, STI CMP using fixed abrasive demands, measurement methods and results, Proceedings of fifth international CMP-MIC, Santa Clara, U.S.A., March 2-3, pp. 265-274, 2000.

6. Joseph M. Steigerwald, Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials, John Wiley, 1997.

7. Thomas F.A. Bibby, Randy Harwood, Dennis Schey, Kevin Mckinley, Cartesian coordinate maps for chemical mechanical planarization uniformity characterization, Thin Solid Films, 308-309, pp. 512-517, 1997.

8. M. fayolle, J.F. Lugand, F. Weimar, W. Bruxvoort, Evaluation of a new slurry-free CMP technique for oxide planarization, Proceedings of third international CMP-MIC, Santa Clara, U.S.A., February 19-20, pp. 128-133, 1998.

## 참고문헌

1. H. Lim, S.S. Kim, K.S. Chung, Influence of Polysilicon Deposition Conditions on the Characteristics of Oxide-Nitride-Oxide Memory Capacitors, J. Korean Phys., Vol. 33, 501, 1998.
2. 정해도, 화학기계적 폴리싱(CMP)에 의한 층간 절연막의 광역평탄화에 관한 연구, 한국정밀공학회지, 제13권, 제11호, pp. 46-56, 1996.
3. Thomas F.A. Bibby, John A. Adams, Karey Holland, Gerald A. Krulik, Paul Parikh, CMP CoO reduction: slurry reprocessing, Thin Solid Films, 308-309, pp. 538-542, 1997.
4. Vilas Koinkar, Reza Golzarian, Qiuliang Luo, Matthew VanHanehem, Jim Shen, Peter Burke, Chemical Mechanical Planarization of copper interconnects using fixed abrasive polishing pad, Proceedings of fifth international CMP-MIC, Santa Clara, U.S.A., March 2-3, pp. 58-65, 2000.
5. Andreas Römer, Timothy Donohue, John Gagliardi, Frauke Weimar, Peter Thieme, Mark