

# 고정입자 패드를 이용한 층간 절연막 CMP에 관한 연구

박재홍\*, 김호윤(부산대 정밀기계공학과), 정해도(부산대 기계공학부)

## The Study of ILD CMP Using Abrasive Embedded Pad

J. H. Park, H. Y. Kim(Pre. Mech. Eng. Dept., PNU), H. D. Jung(Mech. Eng. School, PNU)

### ABSTRACT

Chemical mechanical planarization (CMP) has emerged as the planarization technique of choice in both front-end and back-end integrated circuit manufacturing. Conventional CMP process utilize a polyurethane polishing pad and liquid chemical slurry containing abrasive particles. There have been serious problems in CMP in terms of repeatability and defects in patterned wafers. Since IBM's official announcement on Copper Dual Damascene(Cu2D) technology, the semiconductor world has been engaged in a Cu2D race. Today, even after ~3years of extensive R&D work, the End-of-Line (EOL) yields are still too low to allow the transition of technology to manufacturing. One of the reasons behind this is the myriad of defects associated with Cu technology. Especially, dishing and erosion defects increase the resistance because they decrease the interconnection section area, and ultimately reduce the lifetime of the semiconductor. Methods to reduce dishing & erosion have recently been interface hardness of the pad, optimization of the pattern structure as dummy patterns. Dishing & erosion are initially generated an uneven pressure distribution in the materials. These defects are accelerated by free abrasives and chemical etching. Therefore, it is known that dishing & erosion can be reduced by minimizing the abrasive concentration. Minimizing the abrasive concentration by using  $CeO_2$  is the best solution for reducing dishing & erosion and for removal rate. This paper introduce dishing & erosion generating mechanism and a method for developing a semi-rigid abrasive pad to minimize dishing & erosion during CMP.

**Key Words** CMP(화학기계적평탄화), AEP(Abrasive Embedded Pad: 입자 함침 패드), ILD(층간 절연막)

### 1. 서론

CMP(Chemical Mechanical Planarization)공정은 반도체 제조 공정에 있어서 wafer 전면에 평탄화를 이룰 수 있는 가장 효과적인 방법으로 알려져 있으며, 대부분의 반도체 제조 공정에 적용, 검토되고 있다. 평탄화 공정은 초집적회로(ULSI)의 제조 공정에 있어서는 필수 불가결한 중요한 공정으로 다층 배선의 누직에 의한 불량률 제거 할 수 있다. 일반적으로 CMP공정은 장비와 슬러리, 패드 등의 특성에 따라 가공 특성이 결정되어진다. 이중 슬러리는 공정 특성에 가장 큰 영향을 미치는 인자중의 하나로 웨이퍼 표면층의 제거와 표면 품질을 결정지어 준다. 패드는 웨이퍼내의 평활도(WIWNNU : within wafer non-uniformity)는 물론 웨이퍼간의 평활도 (WTWNNU.

wafer-to-wafer non-uniformity)에 특히 영향을 미친다. 그러나, 이러한 CMP공정에서도 몇 가지 중요한 문제점이 발생하는데 Fig. 1에서 볼 수 있는 Dishing<sup>(1)(2)</sup>, Erosion, Recess는 CMP공정에서 발생하는 대표적 결함<sup>(3)</sup>이라 할 수 있다.

이러한 결함들은 칩의 제조 과정에서 누전 전류 및 내구성 저하의 원인이 되어 수율을 저하시키므로 반드시 해결되어야한다. 또한, 기존의 CMP 공정은 다량의 슬러리와 화학액을 사용하므로 환경 친화 공정 구현에 문제점을 일으키므로 이를 해결하기 위한 연구가 다각적으로 진행되고 있다. 본 논문에서는 입자 함침 패드의 개발 및 적용에 관하여 논하고자 한다.

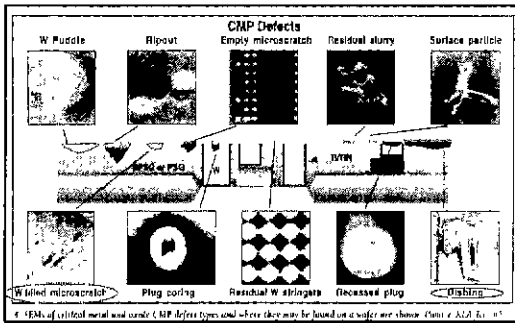


Fig 1 The defects which are generated during CMP

## 2. 입자함침패드

### 2.1 입자함침패드

CMP 가공 시 발생하는 결함, 오염 등을 방지하기 위한 입자함침패드 개발에 관한 연구는 국외에서 수년 전부터 연구 중에 있으며, 그 중 한 일례를 Fig 2에 나타내었다 그리고, 이러한 입자함침패드는 기존의 CMP와 비교하여 가장 중요한 결함인 Dishing 및 Erosion 감소 효과를 나타내는 것으로 발표되고 있다 그러나, 입자함침패드의 경우 기존의 CMP와 달리 새로운 컨디셔닝 방법이 필요하며, 현재 적용되고 있는 방법은 웨이퍼상의 패턴 형상을 이용하는 방법이다 그러나, 이러한 컨디셔닝은 웨이퍼 표면 형상 변화에 따라 영향을 받으므로, 평탄화 진행 시 연마제거율이 현저하게 떨어지는 단점이 있다 본 연구에서는 이러한 컨디셔닝 문제점을 해결하기 위한 방법으로 swelling 특성을 가지는 친수성 바인더를 이용하여 입자함침패드를 제작, 검토하였다

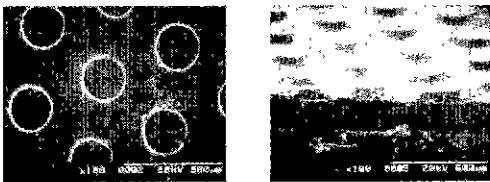


Fig 2 The Picture of Fixed Abrasive Pad (source:3M)

### 2.2 Swelling 메커니즘

본 연구에서 사용한 바인더는 친수성을 가지는 바인더를 사용하였으며, 친수성은 주위의 수분을 흡착하는 특성을 가지고 있다. 일반적으로 친수성은 hydroxyl group(-OH), carbonyl group(-CO), carboxyl group(-COOH) 등이 있으며, 입자함침패드의 제작을 위하여 carboxyl group을 가지는 바인더를 이용하였다.

친수성을 가지는 바인더는 알칼리 또는 수용액 상에서 폴리머 네트워크 내로 수분을 흡착시키게 되며, 폴리머 네트워크 상의 결합 강도를 약화시키는 원인이 된다. 약화된 폴리머 네트워크는 웨이퍼와 패드간의 상대운동에 따른 마찰력으로 쉽게 제거되므로 오토 컨디셔닝(auto-conditioning)을 가능하게 한다 (Fig 3) 즉, 기존의 웨이퍼 패턴 형상을 이용한 컨디셔닝의 경우 평탄화에 따라 연마제거율이 감소하는데 반해 친수성 바인더의 경우 이러한 현상을 감소시킬 수 있다

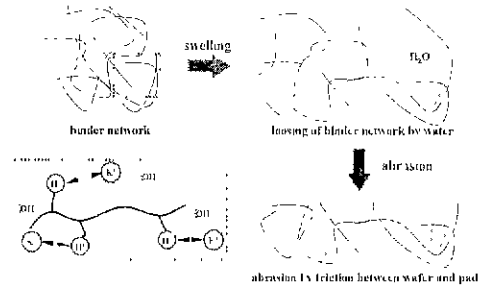


Fig 3 The Schematic Diagram of Swelling Mechanism

## 3. 입자 함침 패드의 개발

### 3.1 바인더 특성 평가

본 연구에서 사용한 바인더는 polyethylene glycol (PEG), polyethylene glycol monomethacrylate (PEGMA), trimethylolpropane trimethacrylate (TMPTA) 세 가지를 이용하였다. 친수성 바인더를 이용한 패드를 구성하는 바인더의 가장 중요한 특성은 swelling ratio와 abrasion ratio이다. 이러한 요소를 파악하기 위하여 바인더의 조성비에 따른 특성 변화를 관찰하였다 Swelling 특성은 컨디셔닝과 관계가 있으며, abrasion ratio는 패드의 내구성 및 압력 전사에 필수적인 항목이다. 즉, swelling이 높을 수록 표면 경도는 낮아지는 경향이 있으며, 일정 이하의 표면 경도는 입자를 통한 웨이퍼로의 압력 전사에 악영향을 미치게 된다

Abrasion ratio의 평가를 위하여 각 조성비에 따라 마멸 테스트를 시행하였으며, CMP 공정과 유사한 분위기를 위하여 KOH solution(pH10.8, 5w%)을 공급하였다. 마멸 테스트 전, 후 질량 변화를 측정하여 abrasion ratio를 평가하였다. 실험 결과 TMPTA가 내마모성에 가장 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다 (Fig 4) TMPTA의 경우 three-functional로서 네트워크 구조를 강화시켜 표면 경도를 향상시키므로, TMPTA의 비율이 높을수록, abrasion ratio가 향상되는 것으로 생각된다.

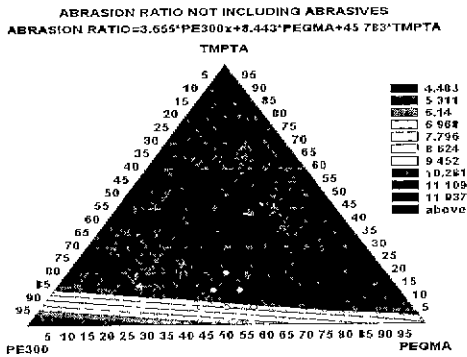


Fig 4 Abrasion Ratio as Binder Components

Swelling ratio는 KOH solution(pH10.8, 5wt%)에 dipping test로 평가하였으며, dipping 전, 후의 질량 변화로 산출하였다. Swelling ratio는 PEGMA 비율이 높을수록, TMPTA 비율이 낮을수록 증가하였다. PEGMA의 경우 meta-acolyte를 가지므로 swelling ratio 증가에 가장 민감한 영향을 미치는 것이며, 반면에, TMPTA의 경우 네트워크 밀도를 높이므로 swelling ratio를 감소시키는 것이다. (Fig 5)

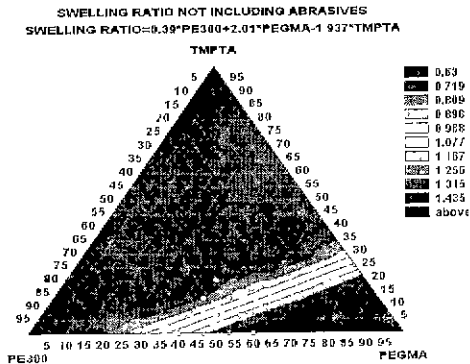


Fig 5 Swelling Ratio as Binder Components

위의 실험결과 얻어진 상관 관계를 바탕으로 적당 배합비의 조성을 찾고자 대표적인 4가지 조성비 (Table 1)에 대한 CMP 공정 테스트를 실행하였다.

Table 1 Components of binders

	BE300	PEGMA	TMPTA
No. 3	40.0	40.0	20.0
No. 6	40.0	50.0	10.0
No. 8	43.3	53.3	3.4
No. 2	40.0	60.0	0.0

그 결과 No.6의 조건이 가장 연마제거를 특성

가장 양호한 것으로 판명되었다(Fig. 6)

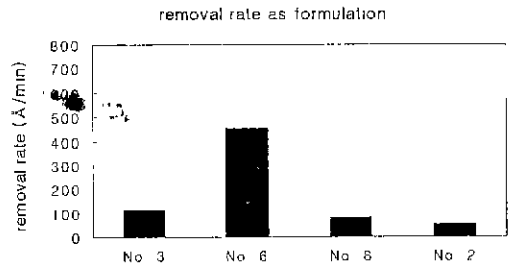


Fig. 6 Result of CMP as Component

### 3.2 입자 함침 패드 제조 공정

친수성 바인더를 이용한 입자 함침 패드의 제조 과정을 Fig. 7에 나타내었다. 연마입자는 세리아를 사용하였으며, 바인더 조성비는 가장 최적 조건인 No.6의 조건을 선정하였다 (Table 1)

연마 입자와 바인더와의 혼합을 위하여 ball-mill 와 stirrer를 이용하였으며, 폴리우레탄 패드상에 연마입자층 형성을 위하여 프린터 스크린을 사용하였다. 바인더 경화 방법은 크게 열경화와 광경화로 나눌 수 있으며, 본 연구에서는 자외선을 이용한 광경화법을 적용하였다. 하부 패드는 기존 CMP 공정에서 일반적으로 사용되이지는 IC 1400<sup>TM</sup>을 사용하였으며, 제조 공정에서 입자 입경, 입자와 바인더의 혼합과 분산, 인쇄 공정 시 점도의 확보, 경화 시 UV조사량이 중요한 요소로 나타났다

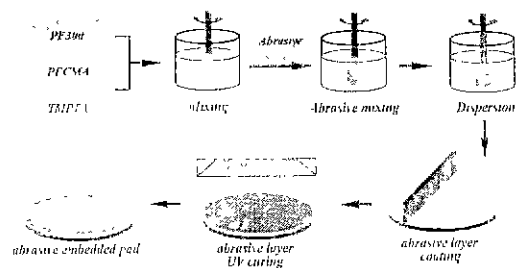


Fig 7 Manufacturing Sequence of AEP

## 4. ILD CMP 적용 결과

제작된 입자 함침 패드의 ILD CMP 적용을 위하여 기존의 실리카 베이스 슬러리 2종류와의 비교실험을 통해 그 가능성을 평가해 보았다. 실험 조건은 Table 2에 나타내었으며, CMP 장비는 lhead/lplate를 가지는 LGP-381(Lap Master Co.)을 이용하였다. 가공

결과를 측정하기 위하여 박막두께측정기를 사용하여 52point cartesian coordinate 측정 방법으로 평가하였으며. EE(edge exclusion) 3mm, 1 sigma 처리를 통하여 WIWNU를 산출하였다

Table 2 Experimental Condition

	abrasive capslation p. pad	conventional CMP (1)	conventional CMP (2)
pressure	300 g/cm <sup>2</sup>	300 g/cm <sup>2</sup>	300 g/cm <sup>2</sup>
relative velocity	30 / 30 rpm	30 / 30 rpm	30 / 30 rpm
pad	abrasive capslation pad (CeO <sub>2</sub> )	IC 1400	IC 1400
slurry	KOH solution (5wt %, pH 10.8)	slurry (1)	slurry (2)
supply volume	150 cc/min	150 cc/min	150 cc/min
wafer	PETEOS blanket wafer (10000 Å)	PETEOS blanket wafer (10000 Å)	PETEOS blanket wafer (10000 Å)

각 가공 조건에 따른 연마제거율을 Fig 8에 나타내었다. KOH solution만을 공급하는 입자함침페드의 경우 기존의 CMP와 비교하여 30% 정도의 향상율 가져왔다. 이는 실리카 입자와 비교하여 세리아 입자의 연마 특성 우수성과 고정 입자 가공의 결과로 사료된다. 그리고 수용성 바인더를 이용한 입자함침페드의 높은 연마제거율은 swelling 특성에 의해 입자의 배출이 원활히 이루어졌으며, 이는 오토 컨디셔닝이 이루어짐을 알 수 있다.

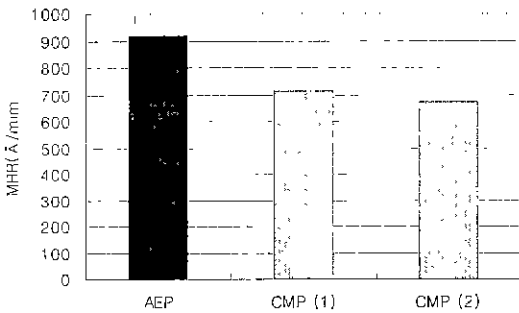


Fig. 8 Material Removal Ratio of AEP 웨이퍼내의 non-uniformity를 Fig 9에 나타내었다

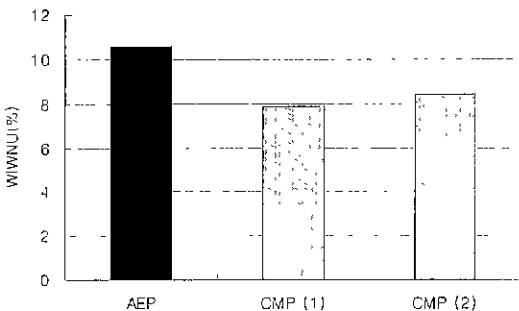


Fig 9 WIWNU of AEP

일반적인 CMP와 비교하여 수용성 바인더를 이용한 입자함침페드의 경우 다소 높은 WIWNU를 나타내었다. 이는 하부 페드의 영향과 가공 조건 설정의 문제점으로 생각된다. 가공 후 웨이퍼 표면의 scratch 유무를 광학현미경을 사용하여 평가하였으며, 그 결과 현미경상으로 관찰되는 scratch는 발견되지 않았다. 그러나, 반도체 공정 특성 상 AFM 또는 surf-scan을 이용한 micro-scratch 평가가 필요할 것으로 사료된다

#### 4. 결론

본 논문은 수용성 바인더를 이용한 입자 함침 페드의 ILD CMP 적용에 관하여 아래의 결론을 고찰하였다.

- (1) 바인더의 조성에 따른 swelling 특성과 abrasion과의 상관 관계를 알 수 있었다
- (2) 연마제거율은 기존의 CMP와 비교하여 30% 정도 향상됨을 알 수 있었다
- (3) 입자함침페드의 가공 재현성을 위한 오토 컨디셔닝 개념을 확립하였다.
- (4) 슬러리 사용을 최대한 억제시킴으로써 eco-process를 구현할 수 있었다

입자 함침 페드의 CMP 적용 시 발생하는 문제점들은 적절한 하부 페드의 개발과 새로운 공정에 맞는 공정 조건에 대한 연구가 진행된다면 충분히 해결 될 수 있는 문제점이라 생각되며, 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

- 1 Joseph M. Steigerwald, "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials", pp. 255-267, 1996.
- 2 土肥 俊郎. "Details of Semiconductor CMP Technology," pp 319-332, 2000.
- 3 Peter Powell, "Engineering with Polymers", Chapman and Hall, pp 89-95, 1983
- 4 S Kordic, A Imard, and P Mote, "Cu-CMP Strategies," Proceeding of CMP-MIC Conference, pp 341-348, 2001.
- 5 Doglus P Goetz, "The Effect of Subpad Construction on Pattern Density Effects for Slurry-free CMP," Proceeding of CMP-MIC Conference, pp. 234-241, 1999.
- 6 Hsueh-Chung Chen, Teng-Chun Tsai, Sho-Chung Hu, "Characterization of Dishing Behavior on Copper CMP for Advanced ULSI Interconnect" Proceeding of CMP-MIC Conference, pp 601-604, 2001