

Cu 배선 형성을 위한 CMP 특성과 ECP 영향

김호윤, 홍지호, 문상태, 한재원, 김기호
동부아남반도체, Nano project

Cu CMP Characteristics and Electrochemical plating Effect

Hoyoun Kim, Jiho Hong, Sangtae Moon, Jae-Won Han, Keeho Kim
Dongbu Anam Semiconductor, Nano project

Abstract

반도체는 high integrated, high speed, low power를 위하여 design 뿐만 아니라 재료 측면에서도 많은 변화를 가져오고 있으며, RC delay time을 줄이기 위하여 Al 배선보다 비저항이 낮은 Cu와 low-k material 적용이 그 대표적인 예이다. 그러나, Cu 배선의 경우 dry etching이 어려우므로, 기존의 공정으로는 그 한계를 가지므로 damascene 또는 dual damascene 공정이 소개, 적용되고 있다. Damascene 공정은 절연막에 photo와 RIE 공정을 이용하여 trench를 형성시킨 후 electrochemical plating 공정을 이용하여 trench에 Cu를 filling 시킨다. 이후 CMP 공정을 이용하여 절연막 위의 Cu와 barrier material을 제거함으로써 Cu 배선을 형성하게 된다. Dual damascene 공정은 trench와 via를 동시에 형성시키는 기술로 현재 대부분의 Cu 배선 공정에 적용되고 있다. Cu CMP는 기존의 metal CMP와 마찬가지로 oxidizer를 이용한 Cu film의 화학반응과 연마 입자의 기계가공이 기본 메커니즘이다. Cu CMP에서 backside pressure 영향이 uniformity에 미치는 영향을 살펴보았으며, electrochemical plating 공정에서 발생하는 hump가 CMP 결과에 미치는 영향과 dishing 결과를 통하여 그 영향을 평가하였다.

Key Words : Cu Interconnect, Damascene process, CMP, ECP

1. Instruction

반도체는 high integrated high speed, low power를 목적으로 발전하고 있다. 이를 위하여 design rule의 감소, 새로운 물질과 프로세스의 적용 등 많은 연구가 이루어지고 있으며, RC delay time을 줄이기 위한 Cu와 low-k material 적용은 그 대표적인 예라 할 수 있다. Cu 배선은 기존의 Al 배선에 비하여 낮은 비저항으로 인하여 delay time의 감소뿐만 아니라, Al에 비하여 높은 EM(electro-migration)과 SM(stress-migration) 저항을 가짐으로써 electrical performance에서도 이점을 가지고 있다. Low-k material은 최소 선폴

90nm이하 공정에서는 Cu 배선과 더불어 필수적으로 적용, 검토되고 있으며, DLC(diamond like carbon), CDO(carbon doped oxide) 등 여러 가지 low-k material이 검토되고 있다.

Cu 배선을 형성하기 위해서는 기존의 Al 배선 공정과 여러 가지 차이점을 가지고 있다. Al 배선 공정은 Al film을 증착한 후 photo, RIE 공정을 통하여 Al 배선을 형성시킨다. 형성된 배선간의 절연을 위하여 절연막을 증착하고, 증착 후 나타나는 표면의 요철(topography)를 제거하기 위하여 평탄화 공정인 절연막 CMP가 적용된다. 이후 상,하 배선 연결에 이용되는 Via 형성을 위하여 메탈(tungsten) CMP가 적용되며, 한 layer가 완성되게

된다[1-3]. 그러나, Cu 배선 형성을 위해서는 damascene 공정이 사용된다. Damascene 공정은 절연막 증착 후 photo와 RIE 공정을 이용하여 trench를 형성시킨다. 형성된 trench에 Cu filling을 위하여 기존에 사용되지 않은 electrochemical plating 공정이 적용되며, 이를 위하여 barrier material로 Ta/TaN과 electrochemical plating 공정을 위한 Cu Seed가 필요하게 된다. 이후 Cu 배선간의 절연을 위하여 CMP 공정이 이용되며, 절연막 위의 Cu와 barrier material을 제거함으로써 Cu 배선을 완성하게 된다. Dual damascene 공정은 trench와 via를 동시에 형성시키는 기술로 현재 대부분의 Cu 배선 공정에 적용되고 있다[4-5].

Cu filling을 위한 electrochemical plating 공정은 기존의 증착 공정과는 다른 특징을 가지고 있다. 기존의 증착 공정은 하부의 패턴 형상에 따라 conformal하게 증착되는 것이 일반적인 특징이다. 그러나, electrochemical plating의 경우 증착을 위한 seed Cu가 필요하고, 증착 후 trench가 형성되어 있는 부분이 trench가 형성되어 있지 않은 부분에 비하여 더 높은 단차를 형성하게 되며, 이를 Hump라고 부른다. (Fig. 1)

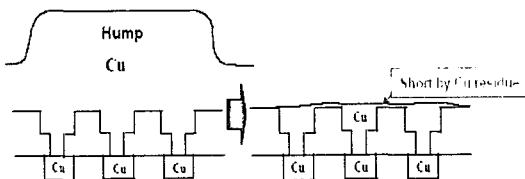


Fig.1 Hump effect at electrochemical plating

이러한 hump 특성은 일반적인 CVD 공정에서 나타나는 특징과 상반된 특성이다. Hump는 조밀한 pattern 영역에서의 electrical charge가 상대적으로 증가하여 발생하는 것으로 알려져 있으며, hump에 의한 상대 단차가 클수록 Cu CMP에서의 연마 제거량은 증가하게 된다. 이는 웨이퍼 내의 non-uniformity 문제로 인한 dishing과 erosion과 같은 defect을 증가하게 되므로, 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다. 본 논문에서는 electrochemical plating 두께에 따른 hump 발생 정도와 이와 연관한 Cu CMP 결과에 대하여 살펴 보았다. 또한, Cu CMP 시 웨이퍼 레벨의 uniformity를 향상시키기 위한 방법으로 back-side

pressure에 따른 연마 결과에 대하여 검토하였다.

2. Backside pressure effect

2 step Cu CMP 개념은 1st step Cu CMP에서 Cu에 대하여 barrier material의 material selectivity가 높은 슬러리를 사용하여 bulk Cu를 제거하게 되며, end point detection이 barrier material에서 적용된다. 2nd step Cu CMP에서는 barrier material 위에 남아 있는 remain Cu와 barrier material을 제거하는 것이 목적이며, 이를 위하여 material selectivity가 낮은 슬러리를 적용한다. (Fig. 2)

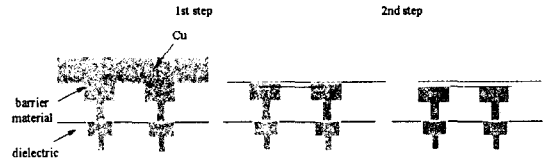


Fig.2 2 step Cu CMP scheme

Backside pressure를 변화시켜 1st Cu CMP에 적용하였을 때 나타나는 EPD signal은 Fig. 3와 같다. EPD signal은 웨이퍼 반경에 따라 5 point에서 검출하였으며, non-uniformity가 높을수록 나타나는 signal의 band width가 넓어지게 된다.

CMP 장비에서 uniformity를 개선하기 위하여 일반적으로 적용되고 있는 방식이 backside pressure이다. Backside pressure는 웨이퍼의 반경 방향에 따라 가해지는 압력을 조절함으로써, 웨이퍼 전면에 대한 uniformity를 확보할 수 있다는 개념이다. 200mm 이상의 웨이퍼에 대하여 적용되고 있는 multi zone head 방식도 backside pressure의 개념이라고 볼 수 있다. Backside pressure가 Cu CMP에 미치는 영향을 uniformity 관점에서 살펴 보기 위하여 backside pressure를 main pressure에 대하여 25, 40, 60%로 변화시켰다.

Fig. 3에 나타낸 바와 같이 backside pressure가 25%일 때는 1st layer에서는 signal의 bank width가 상대적으로 큰 차이가 나타나지 않지만, 4th layer에서 signal의 band width는 상당히 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 다층 구조로 적층될수록 각 layer에서의 non-uniformity는 누적되는 경향을 보이며, 위 결과도 그에 따른 영향으로 볼 수 있다.

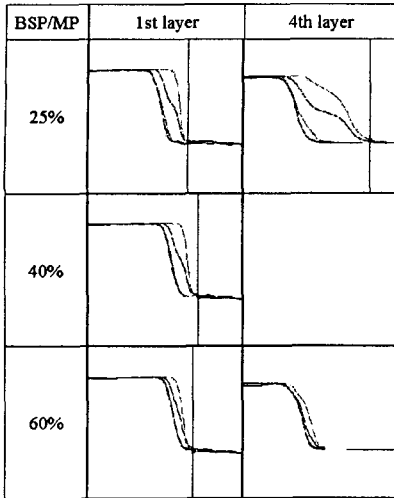


Fig.3 EPD signal with the ratio of pressure

그러나, backside pressure의 비가 60%인 경우에는 1st layer나 4th layer에서의 EPD signal의 차이는 크게 나타나고 있지 않으며, 전체적으로 60%를 적용한 경우에서의 signal band width가 가장 좁은 것을 알 수 있다. Signal band width가 좁을수록 웨이퍼 center와 edge간의 variation이 작은 것을 의미하므로 uniformity 관점에서 backside pressure가 Cu CMP에 미치는 영향을 추정할 수 있다. 또한, EPD signal의 band width가 증가할수록 웨이퍼 edge는 barrier material이 노출된 상태에서 over polishing이 상대적으로 크게 적용됨으로서 dishing 발생량을 증가시킬 가능성도 있다. 그러므로, Cu CMP에서 uniformity를 확보하기 위하여 backside pressure와 같은 인자들의 조절을 필요하다.

3. Electrochemical plating effect

ECP 두께에 따른 hump 발생량을 알아보기 위하여 dual damascene 공정을 이용하여 2 layer를 형성시켰으며 (Fig. 4), 테스트를 위한 패턴 구조와 테스트 조건은 Table 1 과 같다. Trench 형성 후 Cu fill을 위하여 1st, 2nd layer 모두 각각 0.6, 0.8, 1.0um으로 Cu film을 증착하였으며, Cu CMP 조건은 동일하게 적용하였다.

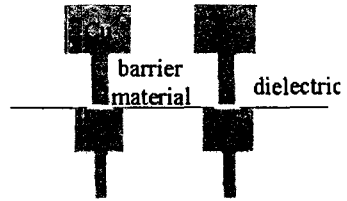


Fig.4 Double layer test structure

Table 1 Experimental condition

1st layer	ECP	thickness	6000, 8000, 10000 Å		
			1st Step	2nd Step	
1st layer	CMP	pressure	4 psi	3 psi	
			EPD	valid	invalid
2nd layer	ECP	thickness	6000, 8000, 10000 Å		
	CMP	pressure	1st Step	2nd Step	
4 psi			3 psi		
EPD			valid	invalid	

ECP 후 1st layer에서 발생한 hump 발생량은 Fig. 5에 나타난 바와 같이, hump height는 Cu thickness가 증가함에 따라 46nm에서 20nm 정도로 감소하였다. 이는 Cu film thickness가 증가할수록 pattern dependency가 낮아짐으로서 hump 발생량이 감소하는 것으로 추정된다.

Cu thickness에 따른 Cu CMP 후 발생하는 dishing 발생량을 1st layer, 2nd layer에서 측정하였으며, 이 ECP후 각 웨이퍼에 대해서 Cu CMP를 적용하였으며, 발생하는 dishing에 대하여 측정하였다.

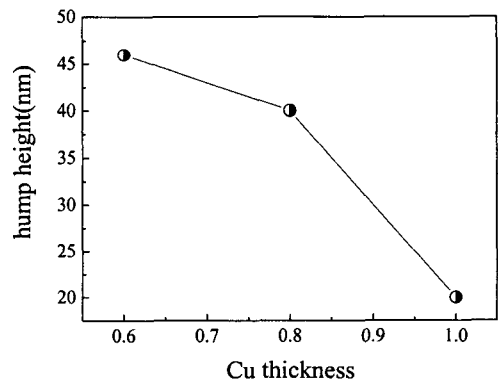


Fig.5 Hump height with Cu thickness

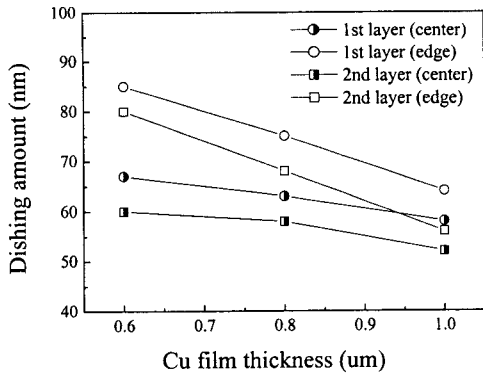


Fig.6 Dishing amount with Cu thickness

Dishing은 60um isolated pattern에서 HRP를 이용하여 측정하였다. Cu CMP 후 dishing 발생량은 Cu film 두께가 높을수록 작게 발생하였다. Fig. 6에서와 같이 Cu film 1.0um에서 1st, 2nd layer 모두 50~65nm 정도 발생한 반면, 0.6um에서는 60~85nm 발생한 것을 볼 수 있다. 또한, 2nd layer에서의 center & edge variation이 1st layer보다 상대적으로 큰 것을 알 수 있으며, 이는 EPD signal에서도 나타나고 있다. (Fig. 7) 이는 non-uniformity가 적층 구조에서 누적 때문에 발생하는 것으로 생각된다. Fig. 7에서와 같이 Cu CMP time은 Cu film thickness에 의존함을 볼 수 있다.

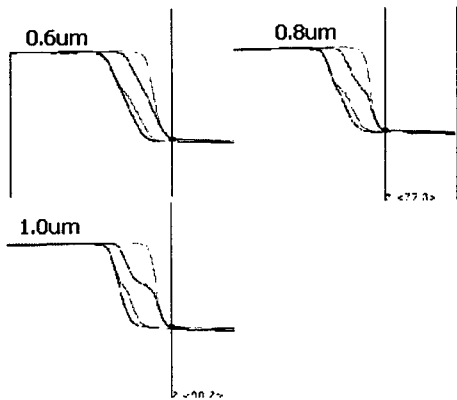


Fig. 7 EPD signal with Cu film thickness

4. Conclusion

Cu CMP에서 backside pressure 영향에 대하여 uniformity 관점에서 살펴보았으며, backside pressure 비가 60%인 경우 다층 배선, 적층 구조에서도 non-uniformity 누적 영향을 줄일 수 있었다. 또한, ECP 후 hump 발생량은 film thickness가 증가할수록 pattern dependency가 낮아짐으로서 hump 발생량이 감소하며, Cu CMP 후 dishing 발생량은 Cu film 두께가 두꺼울수록 감소함을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] J. M. Steigerwald, R. Zirpoli, S. P. Murarka, D. Price, R. J. Gutmann, J. Electrochem. Soc., 141, p. 2842, 1994
- [2] K. Smekalin, D. Fertig, J. Electrochem. Soc., 143, L281, 1996
- [3] David A. Hansen, Gerry Moloney and Mike E. Witty, in Chemical Mechanical Planarization in IC Device Manufacturing 3rd, p.136, The Electrochemical Society Proceedings Series, 1999
- [4] V. Nguyen, "Dependency of dishing on polish time and slurry chemistry in Cu CMP", Microelectric Engineering, 50, p.403, 2000
- [5] Yi-chung Kao, "Robust operation of Cu chemical mechanical polishing", Wang Xin, "Development of Cu Slurry", Microelectric Engineering, 50, p.403, 2000