계면활성제 함량 조절을 통한 구리 하이브리드 구조물의 화학 기계적 평탄화

장수천* · 안준호** · 박재홍*** · 정해도*,**†

*부산대학교 하이브리드소재솔루션 국가핵심연구센터, **지애펜테크놀로지(주), ***Nitta Haas Inc.

Chemical Mechanical Planarization of Cu Hybrid Structure by Controlling Surfactant

Soocheon Jang*, Joonho An**, Jaehong Park*** and Haedo Jeong*,**†

*NCRC for Hybrid Materials Solution, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

G&P Technology Inc., Busan 609-735, Korea, *Nitta Haas Inc., Kyoto 610-0333, Japan

(2012년 9월 20일 접수 : 2012년 10월 12일 최종수정 : 2012년 10월 15일 채택)

Abstract Recently, the demand for the miniaturization of package substrates has been increasing. Technical innovation has occurred to move package substrate manufacturing steps into CMP applications. Electroplated copper filled trenches on the substrate need to be planarized for multi-level wires of less than 10 μm . This paper introduces a chemical mechanical planarization (CMP) process as a new package substrate manufacturing step. The purpose of this study is to investigate the effect of surfactant on the dishing and erosion of Cu patterns with the lines and spaces of around 10/10 μm used for advanced package substrates. The use of a conventional Cu slurry without surfactant led to problems, including severe erosion of 0.58 μm in Cu patterns smaller than 4/6 μm and deep dishing of 4.2 μm in Cu patterns larger than 14/16 μm . However, experimental results showed that the friction force during Cu CMP changed to lower value, and that dishing and erosion became smaller simultaneously as the surfactant concentration became higher. Finally, it was possible to realize more globally planarized Cu patterns with erosion ranges of 0.22 μm to 0.35 μm and dishing ranges of 0.37 μm to 0.69 μm by using 3 wt% concentration of surfactant.

Key words CMP, surfactant, dishing, erosion, Cu hybrid structure.

1. 서 론

최근 정보통신산업의 발달에 따라 모바일기기 및 전자 제품들의 경량화, 소형화, 다기능화 등의 요구를 충족시키기 위해 기판에 보다 효과적으로 반도체 소자를 실장할 수 있는 전자 패키지(package) 기술이 요구되고 있다.^{1,2)} 종래에는 칩과 기판사이의 연결을 위해 와이어 본딩을 이용해 신호를 전달하였지만 전체적인 배선의 길이가 길어짐으로 인하여 높은 저항으로 인한 전류의 손실 때문에 신호전달 속도의 감소, 고주파 특성의 감소, I/O 패드의 증가 등의 문제점이 있다.³⁾ 최근에는 패키지 기판에 비아와 배선을 형성하고 구리 채움 공정을 통하여 고집적화, 고속신호전달, 전기전도도 및 열전도 특성 향상을 통해 와이어 본딩에 의한 단점을 보완하고 있다.⁴⁾

기존 배선에서는 식각 공정만을 통하여 기판 표면의 불

필요한 구리를 제거할 수 있었지만, 선평이 줄어들면서 식각 공정으로는 많은 결함을 발생시키고 있는 실정이다. 이러한 패키지 기판은 CCL(copper clad lamination) 기판에 반복적인 도금 공정과 제거공정을 통하여 만들어지는 구리 하이브리드 적층 구조물으로써 최근에는 기판표면의 불필요한 구리를 제거하기 위해 화학 기계적 평탄화(CMP) 기술의 적용이 필요하게 되었다.⁵⁾

효과적인 도금막의 제거를 위해 사용되는 CMP 공정에서 발생하는 전형적인 결함은 Fig. 1과 같이 재료의 제거 특성의 차이에서 발생하는 디싱(dishing)과 공정요소의 역학적 관계 및 재료의 과도한 연마 현상으로 발생하는 에로전(erosion)이 주된 결함이라 할 수 있다. 이러한 결함은 공정이 적용되는 대상 재료 또는 구조적 특징으로 인하여 발생하는 결함으로 적층공정에서 발생하는 배선의 단락 등을 일으킬 수 있다. 따라서 과도한 디싱과 에로전은 미세 선평으로 구현되는 최신 패키지 기판 공정에서 해결되어야 할 결함요소이다.⁶⁻⁸⁾

재료의 제거 대상재료와 연마패드사이의 계면 상태가 어

†Corresponding author

E-Mail : hdjeong@pusan.ac.kr (H. Jeong)

떠한 상태나에 따라서 연마시에 큰 영향을 미치는 CMP 공정에서 도금 후 패키지 기판 표면에 존재하는 구리를 효과적으로 제거하기 위해 슬러리에 계면활성제를 넣어 CMP를 한 후 계면활성제에 따른 디싱과 에로전의 크기를 관찰하였다. 이러한 계면활성제는 한 분자속에 소수 성기와 친수성기의 원자단을 가지고 있으며, 물이나 기름에 녹아서 표면장력을 낮추어서 계면간 에너지 편차를 줄여 분산의 원리를 활용하는 것으로 이러한 계면특성을 바꿔주는 계면활성제를 사용하여 CMP시 발생하는 평탄화 특성에 대해 분석하였다.⁹⁾

2. 실험 방법

화학적 반응과 패드와 기판사이의 상대운동에 의한 기계적 작용의 상승효과에 의하여 재료의 표면을 제거하는 화학 기계적 평탄화(CMP)를 이용하였으며, Fig. 2는 CMP의 개념도를 나타낸다. 탈이온수에 암모니아 1 wt%, 무정질 실리카(20 nm) 3 wt%, 유기산 5 wt%, 과산화수소 2.3 wt%로 이루어진 슬러리로 디싱과 에로전의 발생량을 체크하였다. 일반적으로 선평이 줄어들수록 디싱의 발생량은 줄어들고 에로전의 발생량은 늘어나지만, 미세선평으로 갈수록 절연체부분의 약화로 Fig. 3과 같이 과도한 에로전이 일어나면서 디싱의 크기도 늘어나게 된다. 이러한 결함들을 최소화 하기위하여 슬러리에 음이온계 계면활성제(LAS; linear alkylbenzene sulphonate; $C_{18}H_{30}O_3S$)를 첨가하여 연마를 하였다. 계면활성제의 첨

Fig. 1. Dielectric erosion and Cu dishing after Cu CMP.

Fig. 2. CMP mechanism.

Fig. 3. Dielectric erosion and Cu dishing without surfactant contents in Cu CMP.

Table 1. Composition of slurry additives.

Additive	Concentration(wt%)	
Ammonia	1 wt%	
Amorphous silica(20 nm)	3 wt%	
Organic acid	5 wt%	
Hydrogen peroxide	2.3 wt%	
Surfactant (linear alkylbenzene sulphonate)	#1	0 wt%
	#2	0.1 wt%
	#3	1 wt%
	#4	2 wt%
	#5	3 wt%

가량은 Table 1과 같다. 연마전 패키지 기판을 흡착 필름을 이용하여 부착하였고, 패키지 기판은 4/6 μm, 6/8 μm, 9/11 μm, 14/16 μm의 선평을 갖는 구리 패턴으로 이루어져 있으며, 연마중에 연마 헤드의 압력과 회전 그리고 연마 패드의 회전으로 인하여 접촉면에 발생하는 마찰력을 모니터링 시스템을 이용하여 측정 하였다. Fig. 4는 CMP 장비에 설치되어있는 모니터링 시스템의 개략도를 보여준다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 마찰력의 방향은 헤드의 회전축에서 수직이며, 센서를 이용하여 실시간으로 발생하는 마찰력이 모니터링 된다. 전송되는 마찰력의 신호는 증폭기와 A/D 변환기에 의해 변환되며, 센서 보정을 통하여 나타나게 된다. 먼저 계면활성제 첨가량에 따른 마찰력 변화를 확인하기 위해 CCL을 사용하여 각각 다른 계면활성제 비율을 가지는 슬러리로 CMP를 실시하였으며, 실험조건은 Table 2와 같다. 연마중에 발생하는 마찰력을 모니터링 시스템으로 확인하였고, 이러한 결과를 바탕으로 연마후에 기판 표면에 발생하는 디싱의 크기와 에로전의 크기를 공초점 현미경(confocal microscope)으로 관찰하여 계면활성제가 디싱과 에로전에 미치는 영향을 분석하였다.

Fig. 4. Schematic of friction monitoring system. (a) cross section and (b) top view.

Table 2. Experimental condition.

Parameters	Condition or types
Pressure	350(g/cm ²)
Velocity	Head 87(rpm) / Table 93(rpm)
Conditioner	Nylon brush
Polishing pad	SUBA 600(X-Y groove)
Slurry flow rate	100(ml/min)

3. 결과 및 고찰

먼저 계면활성제가 CMP중 발생하는 마찰력에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 실험 장치에 마찰력 센서를 부착하고 변화를 모니터링 하였다. CMP중 발생한 평균 마찰력을 살펴보면 계면활성제의 첨가량이 늘어날수록 마찰력이 일정하게 줄어드는 것을 확인 할 수 있다(Fig. 5). 이는 곧 CMP중에 구리 패턴과 패드사이의 계면에서 발생하는 마찰력에 계면활성제가 직접적으로 관여하였다고 판단된다.

Fig. 6은 구리 패턴을 CMP한 후의 에로전의 크기를 나타낸 그래프이다. 계면활성제 첨가량에 따라 에로전의

Fig. 5. Friction force and RR according to the surfactant contents during CMP.

Fig. 6. Erosion amount according to surfactant contents.

크기도 일정하게 변화하였는데 이러한 현상은 연마중에 발생하는 마찰력에 기인한다고 보여진다. 이는 곧 재료의 과연마로 이어지게 되어 에로전의 발생량에 직접적인 영향을 미치게 되며 이러한 에로전 현상은 공정상의 결함으로 남게 된다. 그리고 Fig. 7과 같이 선폭이 줄어들어 따라서 일정하게 에로전의 크기가 변화하였는데 선폭이 좁은 구간은 넓은 구간에 비해서 에로전이 심하게 일어났다. 연마중 동일한 하중을 받으면서 연마가 되더라도 선폭이 좁아질수록 에로전의 크기는 증가됨을 알 수 있었다. 이는 선폭이 감소할수록 절연체 부분이 연마하중을 견디지 못해서 상대적으로 큰 선폭에 비해 많은 에로전이 발생되었다고 판단된다.

Fig. 8은 구리 패턴을 CMP한 후의 디싱의 크기를 나타내며, 계면활성제를 첨가하지 않았을 때는 선폭의 크기에 따라 3.5~4.2 μm 로 디싱이 크게 발생하였다. 계면활성제의 첨가량이 0.1 wt%인 경우, 첨가하지 않은 경우에 비해 디싱이 크게 줄어들음을 확인할 수 있었고, 계면활성제 첨가량이 늘어날수록 디싱의 크기도 조금씩 줄

Fig. 7. Confocal microscope images of Cu patterns of (a) 4/6 μm and (b) 14/16 μm after CMP with surfactant of 2 wt%.

Fig. 8. Dishing amount according to surfactant contents.

어 들었다. 이러한 디싱은 선폭의 크기와 상관없이 계면활성제 첨가량에 따라 일정하게 변화하는 것을 볼 수 있는데 에로전의 발생량에 따라 디싱의 발생량도 따라서 변화하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 패키지 기판 표면에 4/6 μm , 6/8 μm , 9/11 μm , 14/16 μm 의 선폭을 갖는 구리패턴에 대해 CMP 후의 표면결함을 조사하였다. 특히 CMP 슬러리에 첨가되는 계면활성제는 표면 결함에 직접적으로 관여함을 알 수 있었다. 즉, 계면활성제를 첨가하지 않았을 때 상대적으로 높은 마찰력이 발생하며, 이는 곧 재료의 과연마로 이어지게 되어 디싱과 에로전과 같은 공정 결함을 초래한다. 반면에 계면활성제를 첨가하였을 때는 상대적으로 낮은 마찰력이 발생하며 디싱과 에로전의 양도 큰 폭으로 줄어들었다.

이상의 결과로부터, 계면활성제의 첨가는 연마중에 발생하는 마찰력을 감소시키고 이러한 마찰력은 에로전의 발생량을 줄일 뿐 아니라, 디싱의 발생량도 줄이는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. K. Kondo, T. Yonezawa, D. Mikami, T. Okubo, Y. Taguchi, K. Takahashi and P. Barkey, *J. Electrochem. Soc.*, **152**(11), H173 (2005).
2. T. Kobayashi, J. Kawasaki, K. Mihara and H. Honnma, *Electrochim. Acta*, **47**, 85 (2001).
3. K. Takahashi, H. Terao, Y. Tomita, Y. Yamaji, M. Hoshino, T. Sato, T. Morifuji, M. Sunohara and M. Bonkohara, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40**, 3032 (2001).
4. C. Andricacos, C. Uzoh, J. O. Dukovic, J. Horkans and H. Deligianni, *IBM J. Res. Dev.*, **42**, 567 (1998).
5. S. Ra, C. Lee, J. Cho, S. Lee, J. Lee, M. Hong and J. Kwak, *Curr. Appl. Phys.*, **8**, 675 (2008).
6. H. Lee, B. Park and H. Jeong, *Microelectron. Eng.*, **85**, 689 (2008).
7. H. Lee, S. Joo and H. Jeong, *J. Mater. Process. Tech.*, **209**, 6134 (2009).
8. K. Noh, N. Saka and J. -H. Chun, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, **53**(1), 463 (2004).
9. Z. Li, K. Ina, P. Lefevre, I. Koshiyama and A. Philipossian, *J. Electrochem. Soc.*, **152**(4), G299 (2005).