

논문 21-3-2

미세 표면 구조물을 갖는 패드의 제작 및 STI CMP 특성 연구

Development of Microstructure Pad and Its Performances in STI CMP

정석훈¹, 정재우², 박기현¹, 서현덕¹, 박재홍¹, 박범영¹, 주석배³, 최재영⁴, 정해도^{5,a}
(Sukhoon Jeong¹, Jaewoo Jung², Kihyun Park¹, Heondeok Seo¹, Jaehong Park¹, Boumyoung Park¹,
Sukbae Joo³, Jaeyoung Choi⁴, and Haedo Jeong^{5,a})

Abstract

Chemical mechanical polishing(CMP) allows the planarization of wafers with two or more materials. There are many elements such as slurry, polishing pad, process parameters and conditioning in CMP process. Especially, polishing pad is considered as one of the most important consumables because this affects its performances such as WIWNU(within wafer non-uniformity) and MRR(material removal rate). In polishing pad, grooves and pores on its surface affect distribution of slurry, flow and profile of MRR on wafer. A subject of this investigation is to apply CMP for planarization of shallow trench isolation structure using microstructure(MS) pad. MS pad is designed to have uniform structure on its surface and manufactured by micro-molding technology. And then STI CMP performances such as pattern selectivity, erosion and corner rounding are evaluated.

Key Words : MS pad(microstructure pad), STI(shallow trench isolation) CMP, Pattern selectivity, Erosion, Corner rounding

1. 서론

반도체 제조 공정에서 서로 독립적으로 작동하는 트랜지스터(transistor), 다이오드(diode), 캐패시터(capacitor) 등의 소자는 서로 전기적으로 절연시킬 필요가 있다. 이들 소자간의 절연을 위하여 종전에는 LOCOS(local oxidation of silicon) 공정을 사용하였으나, 소자 사이의 경계면에서의 새부리(bird's beak) 현상으로 인하여 소자의 집적도 및 신뢰성에 문제가 발생하게 되었다[1]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 0.5 μm 이하의 공정에 적

합한 새로운 소자 분리 공정 기술인 STI(shallow trench isolation) 공정이 도입되었다.

이러한 소자 분리를 위한 STI 공정 중에서 패턴과 트렌치 상부에 증착된 산화막을 완전히 제거하는데 화학 기계적 메커니즘을 이용한 CMP(chemical mechanical polishing) 공정이 적용된다. 산화막 제거 및 평탄화를 위하여 적용되는 STI CMP는 연마 패드, 슬러리 등의 소모재에 의한 영향 및 압력과 속도와 같은 공정 조건에 의하여 영향을 받는다. 특히, STI CMP 공정에서 연마 패드는 연마율(MRR;material removal rate) 및 균일성과 같은 CMP 공정의 성능에 영향을 미치는 중요한 인자이다.

현재 상용화되어 있는 패드는 폴리우레탄(polyurethane) 재료에 무수히 많은 미세 공극(micro pore)과 돌기(asperity)가 불규칙적으로 표면에 분포하는 구조를 가지고 있다. 이러한 패드 표면의 불균일한 형상은 슬러리의 불균일한 유동을 일으키며, 웨이퍼와 패드 간 균일한 접촉 면적의 제어를 어렵게 만든다. 이러한 불균일한 접촉

1. 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공
(부산시 금정구 장전동 산 30)

2. 삼성전자 반도체총괄 스토리지사업부

3. 하이브리드소재 솔루션 협동과정

4. 동부일렉트로닉스(주) Nano T/F

5. 부산대학교 기계공학부

a. Corresponding Author : hjeong@pusan.ac.kr

접수일자 : 2007. 12. 26

1차 심사 : 2008. 1. 31

심사완료 : 2008. 2. 19

면적의 변화와 불균일한 슬러리의 유동이 시간에 따라 달라지므로 웨이퍼 전면에 걸쳐 연마 제거가 불균일하게 일어나게 된다. 또한 패드와 웨이퍼의 패턴 가장자리(side wall) 및 하부 영역(recessed area)과의 불균일한 접촉으로 인하여 라운딩(rounding), 에로전(erosion) 및 디싱(dishing) 현상을 유발한다고 알려져 있다[3,4]. 따라서 본 연구에서는 균일한 실접촉 면적을 가지는 표면 형상의 패드를 제작하고 STI CMP에 적용하여 라운드, 에로전 및 디싱에 관한 연마 결함 특성을 비교하였다.

2. 미세 표면 구조물을 갖는 CMP 패드의 설계 및 제작

2.1 패드 표면의 형상 설계

STI CMP 공정에서 연마 시간이 지남에 따라 재료 제거율이 떨어지는 현상은 실제 패드 표면과 웨이퍼의 접촉에 의해 패드 표면의 돌기가 마멸이 되어 실접촉 면적의 증가로 인한 현상으로 알려져 있다[5]. 그러므로 패드의 마멸이 진행되어도 실접촉 면적이 증가하지 않음으로 인한 균일한 연마율을 확보할 수 있는 균일한 구조물을 패드 표면 위에 형성하였다.

그림 1에서 제작된 패드는 가로, 세로가 150 μm 인 정사각형 모양의 균일한 구조물을 가진다. 이것은 기존 패드 표면의 돌기 역할을 할 수 있도록 설계하여 웨이퍼와 직접 접촉하는 부분이 된다. 또한 각 구조물 사이의 미세 채널(micro channel)은 기존의 패드에서 슬러리를 보유하는 미세 공극과 슬러리를 이송하는 역할을 담당하는 그루브(groove)의 역할을 동시에 할 수 있도록 그 크기를 200 μm 로 설정하였다.

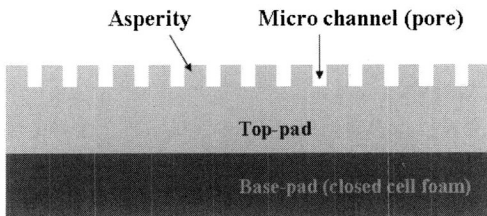


그림 1. 마이크로 구조물을 갖는 패드 표면 설계.
Fig. 1. Schematic of CMP pad surface with microstructure.

2.2 CMP 패드의 제작

본 논문에서는 실리콘 고무(silicone rubber)를 이용하여 미세 구조물을 표면에 균일하게 형성한 패드를 제작하였다. 그림 2는 마이크로 표면 구조물을 가지는 패드를 제작 공정을 나타내고 있다. 패드의 제작 공정 과정은 마이크로 구조물을 가진 마스터 몰드(master mold)를 제작하여 모양과 크기는 같고 반대 형상인 실리콘 고무 몰드를 만든 후, 이를 이용하여 연마 패드를 제작하는 공정 단계로 이루어져 있다. 이러한 공정의 장점은 가공하기 어려운 최종 재료를 가공하기 쉬운 마스터 몰드 제작을 통하여 전사하여 제작할 수 있다는 것이다[6].

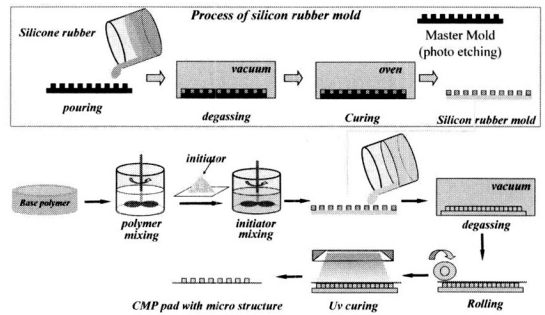


그림 2. 마이크로 표면 구조물을 가지는 CMP 패드의 제작 과정.

Fig. 2. Manufacturing process of microstructure pad.

본 연구에서는 400 mm의 직경을 가지는 연마 패드를 제작하기 위해 대면적 적용이 가능한 포토 에칭을 이용하여 마스터 몰드를 제작하였다. 제작되어진 마스터 몰드에 실리콘 고무를 부은 다음 진공 주형기를 이용하여 탈포 공정을 거친 후 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열경화 공정을 거치면 실리콘 고무 몰드가 제작된다. 여기서 실리콘 고무를 소프트 몰드로 사용하게 된 이유는 이형성이 좋으며 0.2 % 미만의 선수축률을 나타내므로 우수한 치수 정도를 얻을 수 있기 때문이다.

실제 연마에 사용되는 패드를 만들기 위해 제작되어진 고무 몰드에 패드의 재료인 폴리우레탄과 경화제를 혼합한 재료를 넣은 후, 기저 필름이 되는 폴리카보네이트(polycarbonate) 필름을 롤링공정(Rolling process)을 이용하여 덮고 광경화 공정을 거쳐 MS 패드를 제작할 수 있었다. 그림 3은 실제 제작된 패드의 SEM 사진을 보여주고 있다.

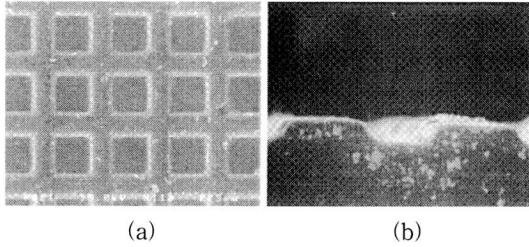


그림 3. 마이크로 표면 구조물을 가진 패드의 SEM 이미지: (a) 윗면 (b) 단면.

Fig. 3. The SEM images of microstructure pad: (a) top (b) cross-section.

3. STI CMP 특성

3.1 연마 실험 장치 및 조건

MS 패드와 상용 패드인 Rohm and Haas사의 IC 1400 K-groove 패드를 이용하여 STI CMP 특성을 알아보기 위하여 연마 실험을 수행하였다. 연마에 사용된 연마 장치는 G&P Technology 사의 POLI-400 장비를 사용하였다. 그리고 Kla-Tencor 사의 Alpha step IQ 장비를 사용하여 웨이퍼 패턴의 밀도(density)와 피치(pitch)에 따른 프로파일을 측정하였다. 실험 조건은 표 1에 나타내었다.

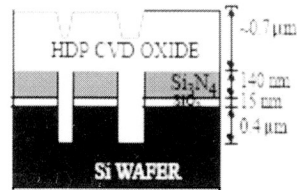
표 1. 실험조건.

Table 1. Experimental conditions.

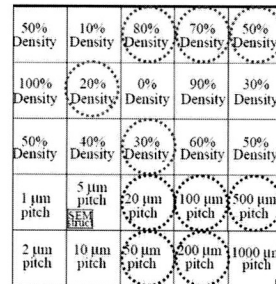
Variables	Conditons
Polisher	POLI-400
Slurry	STARPLANAR (Samsung Cheil Industries Inc.)
Flow rate	100 cc/min
Pressure	500 g/cm ²
Velocity	Head: 60 rpm, Table: 60 rpm
Polishing time	1 min, 0, 25, 50, 75 % over-polishing
Wafer	STI patterned wafer (SKW3-2)

실험에 사용된 웨이퍼는 0에서 100 %까지의 밀도를 가진 패턴과 1 μm부터 1000 μm까지의 피치를 가진 패턴이 배열된 가로, 세로 4 cm의 SKW3-2 테스트 웨이퍼를 사용하였다. 피치는 패턴과 트렌치의 길이를 합한 것으로 정의된다. 테스트 웨이퍼의 단면 및 구성을 그림 4에 나타내었다. 적색의 반원은 밀도변화에 의한 측정구간이며, 청색의 반

원은 피치변화에 의한 측정구간을 나타낸다. 연마 시간은 가장 작은 크기를 가지는 패턴에서 이종 재료인 질화막이 드러나는 지점에서 연마 중 마찰력 신호가 변하는 시점을 과다 연마 시간 0 %로 설정하여, 각각의 패드에 대해 1분, 과다 연마 0, 25, 50, 75 % 시간에 따른 웨이퍼 프로파일을 측정하였다.



(a) Cross sectional view



(b) Top view of a die

그림 4. STI 웨이퍼의 구조.

Fig. 4. STI patterned wafer structure.

3.2 실험 결과 및 고찰

3.2.1 형상 선택비 특성

IC 1400 K-groove 패드와 MS 패드의 1분간 연마 후 패턴 피치에 대한 상대 단차를 그림 5에 나타내었다. IC 1400 K-groove 패드와 MS 패드를 사용했을 두 경우 모두 일반적으로 예상되는 것처럼 패턴 피치가 클수록 단차의 크기가 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만 MS 패드를 사용한 경우에 IC 1400 K-groove 패드를 사용했을 경우보다 패턴 피치에 따른 상대 단차가 비교적 일정하게 유지됨을 알 수 있다. 패턴 폭에 따른 상대 단차 결과에 대한 선형적 보간식은 다음과 같다.

$$\text{relative height} = 5466 + 2.22 \cdot \text{pattern pitch} \quad (\text{IC1400 pad})$$

$$\text{relative height} = 5507 + 1.32 \cdot \text{pattern pitch} \quad (\text{Microstructure pad})$$

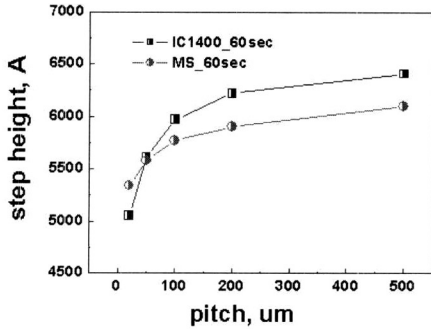


그림 5. 패턴 피치에 따른 단차 비교.

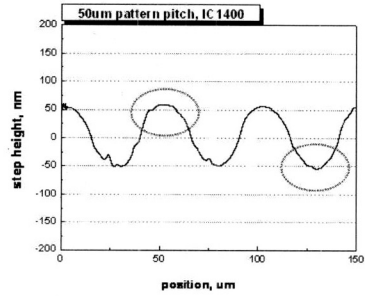
Fig. 5. Comparison of step height with pattern pitch.

결국 패턴 피치에 따른 형상 선택비 특성은 보 간식의 기울기로 비교할 수 있으며, MS 패드를 이용한 STI CMP에서 패턴 피치에 대한 형상선택비가 68 % 향상된 것으로 나타났다. 실제 IC 1400 K-groove 패드는 제작된 MS 패드와 재료제거율이 비슷하지만, 패드의 변형에 의해 패드 표면의 돌기들이 웨이퍼 패턴의 하부 영역에까지 닿아 제거가 이루어지게 되기 때문에 상대 단차가 높게 나타났다. 또한 IC 1400 K-groove 패드의 돌기가 패턴의 가장자리 부분과 접촉하기 때문에 작은 폭을 가진 패턴은 더욱 더 빠르게 제거되어 나가는 것으로 판단된다.

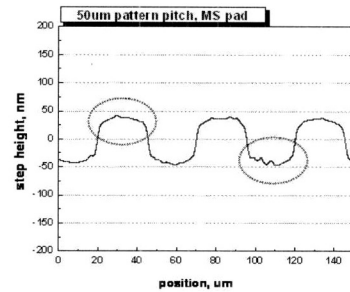
3.2.2 라운딩 및 에로전 결함 평가

그림 6은 두 패드를 이용하여 연마한 각각의 피치에 대한 프로파일을 나타내었다. 연마 시간은 75 % 과다 연마 시간, 즉, IC 1400 K-groove 패드의 경우 227초, MS 패드의 경우 280초 연마 후의 결과를 비교하였다. 75 %의 과다 연마 시간이 MS 패드가 IC 1400 K-groove 패드보다 53초 긴 이유는 마찰력 신호의 변화, 즉 이중 재료가 나타나기 시작한 마찰력 신호의 변화 시간이 서로 다르기 때문이다.

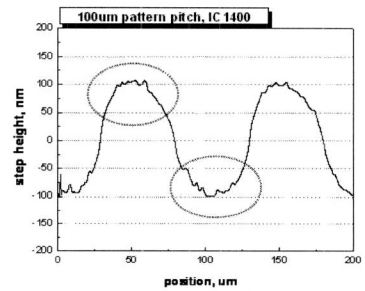
MS 패드를 적용한 경우 동작 영역의 패턴 형상이 비교적 유지되지만 IC 1400 K-groove 패드에서는 동작 영역에서 라운딩 현상인 에로전이 발생하였다. 그리고 패턴 하부의 영역에서는 MS 패드를 사용한 경우가 평탄하게 연마된 형상을 볼 수 있다. 이는 IC 1400 K-groove 패드의 경우 패드 표면의 불규칙한 돌기들이 패턴의 가장자리 및 하부 영역에 직접 접촉하여 불필요한 연마를 일으키기 때문에 일어나는 현상이라 판단된다.



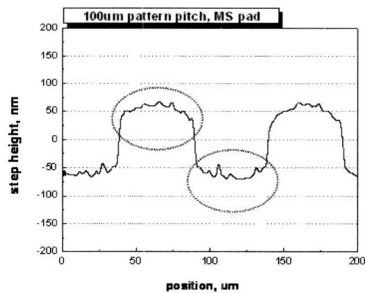
(a) 50 μm pitch, IC 1400 K-groove pad



(b) 50 μm pitch, MS pad



(c) 100 μm pitch, IC 1400 K-groove pad



(d) 100 μm pitch, MS pad

그림 6. 동작 영역에서의 에로전 및 라운딩 현상.
Fig. 6. Erosion and rounding phenomena at active region in STI.

4. 결 론

본 연구는 STI CMP 공정에 사용되는 IC 1400 K-groove 패드의 불균일한 표면 특성에 따른 문제점을 해결하기 위하여 마이크로 몰딩 기술을 이용하여 실접촉 면적이 일정하도록 표면에 균일한 미세 구조물을 가지는 MS 패드를 제작하였다. MS 패드의 표면 구조는 기존의 패드가 가지는 슬러리의 공급 및 유동 기능에 부합하도록 설계하였다. 이렇게 제작되어진 MS 패드를 STI CMP 공정에 적용하였을 경우 패턴 피치에 따른 형상 선택비 특성이 우수하였으며, STI 소자 동작 영역에서의 라운딩 현상 및 에로전 결함을 감소할 수 있었다. 이는 불균일한 분포의 미세공극과 돌기에 의하여 발생되어지는 결함들의 발생을 균일한 구조물에 의한 균일한 실접촉 면적의 MS 패드에 의하여 감소되어질 수 있는 것을 본 연구로써 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] K. Y. Chju, J. L. Moll, and J. Manolio, "A bird's beak free local oxidation technology feasible for VLSI circuits fabrication", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-29, p. 536, 1982.
- [2] R. Tian, X. Tang, and D. F. Wong, "Dummy Feature Placement for Chemical-mechanical Polishing Uniformity in a Shallow Trench Isolation Process", International Symposium on Physical Design Proc., Sonoma, California, p. 118, 2001.
- [3] S. Konstantin, "CMP dishing effects in shallow trench isolation", Solid State Technology, Vol. 40, No. 7, 1997.
- [4] V. H. Nguyen, R. Daamen, H. van Kranenburg, P. van der Velden, and P. H. Woerlee, "A physical model for dishing during metal CMP", Journal of the Electrochemical Society, Vol. 150, No. 11, p. 689, 2003.
- [5] 박기현, 정재우, 박범영, 서현덕, 이현섭, 정해도, "CMP 패드 강성에 따른 산화막 불균일성 (WIWNU)에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 18권, 6호, p. 521, 2005.
- [6] S. I. Chung, Y. G. Im, H. Y. Kim, H. D. Jeong, and D. A. Dornfeld, "Evaluation of micro-reflection technology using silicone rubber molds and its applications", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 43, p. 1337, 2003.
- [7] J. Y. Choi, H. Y. Kim, J. H. Park, S. I. Chung, H. D. Jeong, and M. Kinoshita, "A study on the manufacture of the next generation CMP pad with uniform shape using micro-molding method", Key Engineering Materials, Vol. 257-258, p. 413, 2004.