

액중 부상 방식에 의한 유리볼의 초정밀 연마 기구

Ultra Precision Polishing Mechanism of Glass Ball in Float Polishing

김 한 섭* (울산대 대학원), 박 규 열(울산대)

Hanseob Kim(Univ. of Ulsan), Kyuyeol Park(Univ. of Ulsan)

ABSTRACT

최근에 초정밀 제조업 분야에서 볼의 이용에 관한 연구가 급속히 진행되고 있으며, 일부 반도체 분야에서는 BGA(Ball Grid Array)와 같은 용도로 이용되기도 하며, 볼 자체를 반도체 칩으로 응용하려는 시도가 제안되어 있다. 이러한 적용분야들에서 볼의 진구도, 정밀도 및 청정도 등을 만족시킬 수 있는 가공기술이 선결되어야 한다.

본 연구에서는 초정밀 볼의 가공기술 개발을 목적으로 하여 유리 볼을 대상으로 하고 H₂O와 CeO₂를 혼합한 연마재를 사용하여 부상회전에 의한 비접촉식 연마방법을 제안하고 가공특성을 조사하였다. 연구 결과로서, 비 접촉식 볼의 가공에서는 가공에 앞서 H₂O와의 전처리 과정을 거침으로 해서 가공속도를 촉진시킬 수 있다는 사실이 확인되었다.

Key Words : 유리 볼(Glass Ball), 슬러리(Slurry), 비접촉식 연마, 표면거칠기 (Surface Roughness)

1. 서 론

구는 자연계에서 가장 안정된 형상임과 동시에 표면적을 극대화 할 수 있다는 장점으로 인하여 레이저 용품을 포함한 각종 민생용품, 기계요소 부품 및 센서 등과 같이 다양한 용도로 사용되고 있다. 이 외에도 구의 특수한 용도로서 최근에 개발된 BGA(Ball Grid Array) 접속기술을 들 수 있다. 이는 반도체 소자의 접속용으로 기존의 리드 프레임을 대신하여 구형상의 납을 배열시킴으로써 성능향상을 위한 요소기술로서 활용단계에 있다.

구의 제작에는 일반적으로는 연삭(Grinding), 바렐링(Barreling) 및 래핑(Lapping) 등의 가공방식이 적용되며, 구의 재질과 크기 및 요구 정밀도 등에 따라서 적절한 가공방식이 선택되어진다. 한편 지금까지의 볼 가공방법은 재료의 소결 또는 분쇄 후 래핑 등의 연마의 과정을 거쳐 만들고 있다. 기존의 래핑 방법을 사용하여 볼을 가공한 경우 볼의 표면에 기계적인 응력이 가해짐으로 해서 볼의 표면 상태가 초정밀하지 못하며 가공 중에 연마재나 기타 첨가재가 볼의 표면에 침투하여 불순물로 잔재하기도 한다. 또한 소결 중의 탄화물이 볼의 표면에 잔재하기도 하여 반도체용과 같은 초정밀한 분야에서

의 사용 시에 볼의 표면에 존재해 있는 오염물질로 인해서 악영향을 받게 된다. 그러나 최근 발표된 Ball Semiconductor Inc.의 자료에 의하면 고온의 플라즈마를 이용하여 제조되는 단결정 실리콘구가 석영관(Quartz Tube) 내부를 통과하면서 관내부에서 기계적 화학적 작용으로 초정밀 하게 가공되는 것으로 알려져 있다.

따라서 이와 같은 배경을 토대로 본 연구에서는 초정밀 구의 제조 및 표면 처리에 대한 기초 자료를 확립하고, 제조 방법을 확장 시키는 계기를 마련하였다. 기초 실험을 통하여 기존의 구 제조 및 제조 방법에서의 문제점 제거방법을 제시하며, 새로운 구 제조 및 표면 처리 방법의 개발에 기초 자료를 제공하며 제조 방법을 확장 시키는 계기를 마련하며, 또한 초정밀 구 제조 이외의 구형상의 제품에 대한 응용 활용방안을 제시 하게 되었다.

2. 실험장치

본 실험에는 실험의 목적과 방법에 적합하게 자체 제작한 장치를 사용하였다. 그림 1은 실험에 사용한 부상회전방식의 실험장치의 사진이다. 이장치는 주로 가공이 이루어지는 가공 장치, 유압제어 부분 그

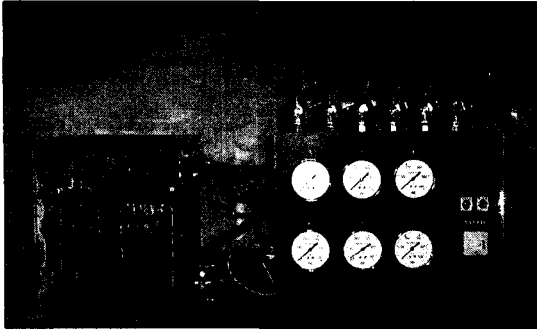


Fig. 1 View of the experimental setup

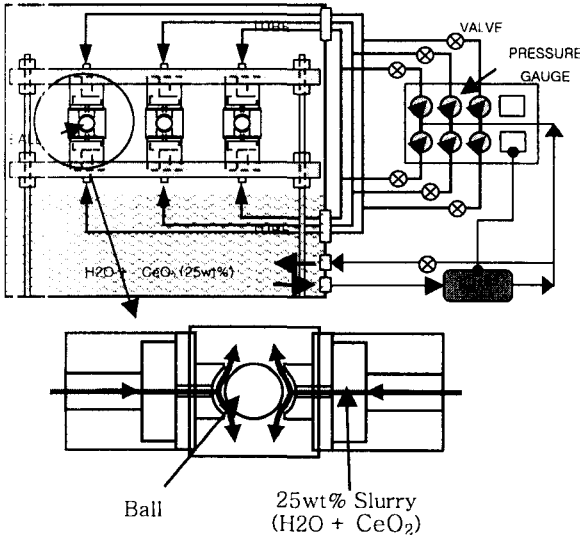


Fig. 2 Details of the experimental setup

의 펌프로 구성되어 있다. 가공장치에는 부상회전 카세트와 고정 가이드 그리고 수조로 구성되어 있다. 이 부상회전 카세트에서 슬러리는 볼을 사이에 두고 상하에서 정압으로 분출되며 압력의 조절은 컨트롤 박스의 상단의 밸브로서 보질이 가능하다. 장치의 각 배관은 실험 시에 동일한 압력을 가지도록 병렬식으로 구성하였으며, 또한 슬러리의 바이패스 (bypass)와 증류수 속에 혼합한 CeO_2 연마재의 침전물이 발생하지 않도록 bypass line을 설치하여 수조 속의 슬러리에 유동을 가지게 장치 구성을 하였다. 장치의 개략도는 그림 2에 나타낸다. 슬러리는 실험장치의 수조에서 마그네틱 펌프를 이용해 볼 부상회전 카세트를 통해 볼과 접촉하게 되어 있다. 볼 부상회전 카세트는 볼을 중심으로 상하 대칭을 이루고 있으며 볼 크기를 고려해서 압력이 가해지더라도 외부로 볼이 유출되지 않도록 간격을 조정하였으며, 간격의 조정편의를 위해 spacer를 사용하였다. 슬러

Table. 1 Experimental condition

시편	Glass Ball ϕ 7mm (비중 2.5 g/cm^3)
연마재	CeO_2 (평균 입자경 $0.5 \mu\text{m}$)
연마재농도	25 wt%
용매	3차 증류수
실험온도	$30 \text{ }^\circ\text{C}$
실험압력	250 gf/cm^2
측정장치	광학식 표면측정기
기타	CFRP, Magnetic pump, Pressure gauge (500 gf/cm^2)

리는 마그네틱 펌프에 장치한 타이머에 의해 주기적으로 유입 또는 차단되도록 장치를 구성하였다. 볼은 슬러리의 유입 압력에 의해 볼 회전 카세트에서 부상하여 회전하게 되고, 최대한 카세트와의 접촉을 피하고 슬러리와 접촉에 의해서만 가공되도록 장치를 고안하였다. 볼은 회전과 정지를 반복하며 전체적으로는 불규칙적인 회전 방향을 가지게 되어 볼 전체에 균일한 가공이 이루어질 수 있도록 장치를 구성하였다. Table. 1은 실험에 사용된 각종 장치와 재료의 사양을 나타낸다. 실험에 사용된 볼은 일반 glass 볼을 이용하였으며 사용된 슬러리는 3차 증류수에 CeO_2 를 25wt%로 혼합한 용액을 사용하여 연마재로 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

[a] 가공시간에 따른 유리 볼의 가공 특성

그림 1에서 보인 부상회전 방식의 실험장치를 이용하여 시간의 변화를 변수로 하여 유리 볼의 가공 특성을 실험하였다. 가공 조건은 표1과 같이 하였다. 그림 3은 가공시간의 변화에 따라 유리 볼의 표면 조도를 측정된 그래프이다. 그래프에서의 각 점들은 표면 거칠기의 측정값을 나타내고 있으며 초기 상태의 data 값들은 상당히 넓은 영역에 걸쳐 분포하고 있다. 이것은 유리 볼의 초기 표면 상태가 상당히 불규칙한 것을 의미하고 있으나 이후 유리 볼은 가공 시간이 증가하면서 그래프에서 보는 바와 같이 측정값들이 분포하고 있는 범위가 점차 줄어들며 측정값들은 전반적으로 낮은 값의 영역에 밀집하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 연마 가공이 이루어지면서 볼의 표면에 분포하고 있는 이물질이나 볼 표면의 불규칙한 돌출 부분이 제거 또는 연마되었다는 사실을 시사하며, 초기 상태와 비교해서 볼의 표면 상태가 보다 균일한 상태로 변화한 것이며 전체적으로 표면 상태가 향상되었음을 나타내고 있다.

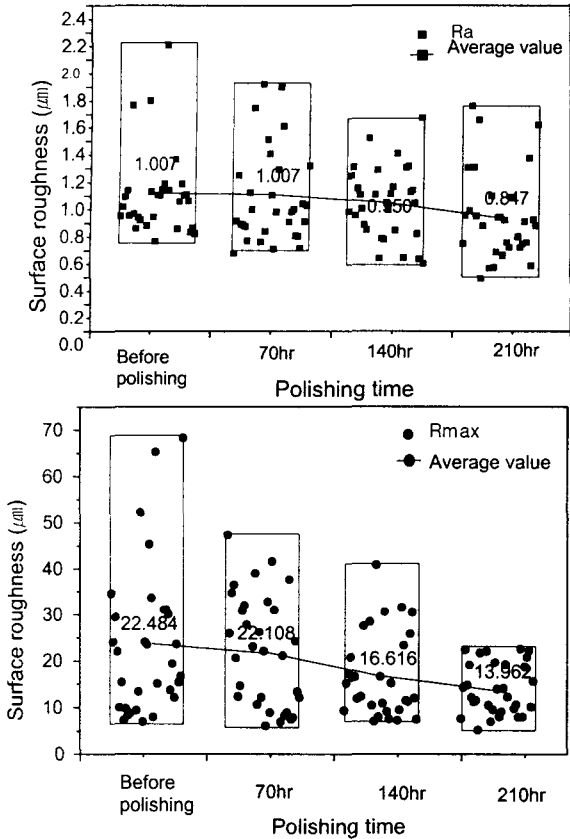


Fig. 3 Relationship between polishing time & surface roughness

Ra의 그래프에서 전체적인 평균값이 서서히 향상됨을 보이고 있는데 비해 Rmax의 그래프에서는 가공 전과 후의 측정값이 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 연삭이나 연마 등의 기타 가공과 같이 표면에서 돌출된 부위에서 우선적으로 가공이 시작되기 때문에 표면이 불규칙한 볼의 경우 Ra값에 비하여 Rmax의 값의 변동폭이 크게 나타나고 있다. 그림 4는 유리 볼의 표면 거칠기를 이용하여 제거된 질량을 대략적으로 계산하여 도출한 그래프를 나타내었다. 본 그림에서 유리 볼은 상당히 급격한 기울기를 보이고 있다. 본 그래프에서의 기울기의 경향은 가공 속도로 생각할 수 있기 때문에 시간의 경과에 따라 다소 볼의 가공속도에 가속이 이루어지는 경향을 확인할 수 있었다.

[b] 표면 수화반응 실험

일반적으로 유리의 경우 SiO_4^{4-} 로 이루어진 무한 그물 구조이며, silicon은 네 개의 산소와 결합하고 산소는 두 개의 silicon에 결합하고 있다. 이러한 구

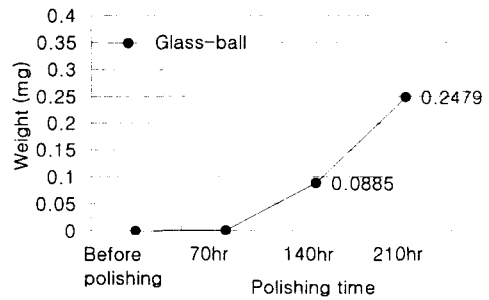


Fig. 4 Relationship between polishing time stock removal

조의 틈새에는 silicate의 음하전에 균형을 맞출 수 있는 충분한 양의 양하전이 들어있다. 이 silicate를 물속에 담그면 표면의 수화가 일어나며 유리볼의 표면은 이러한 수화반응의 영향으로 다소 연질화 되는 경향을 띄게 된다. 따라서 연마액과의 접촉시 수화반응이 발생하지 않는 볼에 비해 상대적으로 가공속도가 증가하게 되고 동일 가공시간에서 제거량 역시 증가하게 되리라 판단된다. 그림 5는 이러한 영향을 확인하게 위해 전처리 과정을 통해 수화반응을 유도한 볼과 그렇지 않은 볼의 가공전과 후의 표면 거칠기를 비교한 그래프이다. 동 그래프는 전처리 과정을 제외한 모든 실험조건을 동일하게 하였으며 그 조건은 전기의 Table.1과 같다. 70시간 가공한 결과에서 전처리 과정을 거친 유리볼은 그렇지 않은 유리볼에 비해 상당한 표면 거칠기를 보이고 있으며 그 차이는 대략 Rmax에서 25%정도의 차이를 보이고 있으며 이러한 결과는 전처리 전처리 과정을 거치지 않은 볼의 140시간 가공 후의 결과이상의 효과를 가지고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 측정 data의 분포경향을 살펴보면 전처리 과정을 거친 후의 가공결과에서 표준 편차의 폭 역시 감소하고 있는 것을 발견할 수 있었다.

[c] 전처리 시간에 따른 가공 상태

전처리 수행의 여부에 따른 실험을 수행하기 위하여 먼저 각각의 볼에 전처리를 하였다. 전처리는 polishing 전 단계에서 유리 볼을 48시간 간격을 두고 흐르는 순수수에 넣어서 체류 시킨 후에 농도 25wt%, 250g/mm²의 슬러리 분출 압력으로 가공시간은 70시간으로 제한하여 증류수 속에서 체류시킨 시간만을 변수로 해서 그에 따른 차이와 증류수에 넣지 않은 경우의 유리 볼과 비교 확인하는 실험을 실시하였다. 그림 5에서는 전처리 시간에 따른 가공결과를 차이를 나타낸 그래프이다. 여기에서 48시간

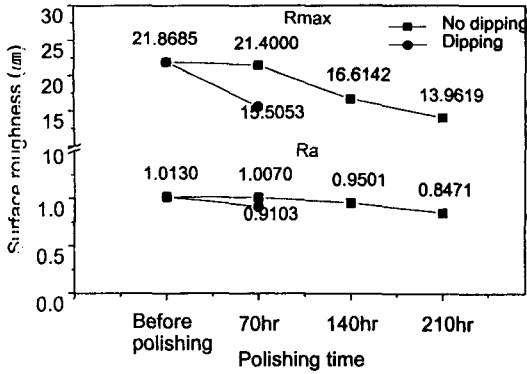
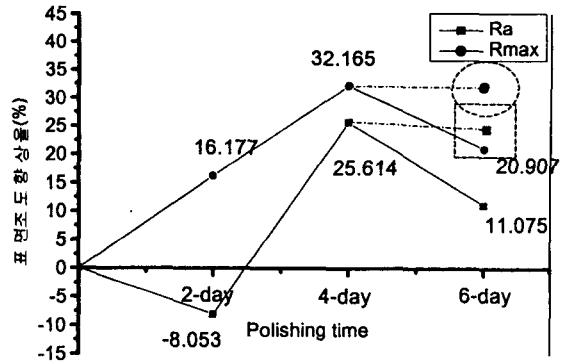


Fig. 5 Effect of dipping in pure water before polishing

과 72시간의 전처리 과정을 거친 볼의 경우 전체적인 표면 거칠기의 향상이 급격히 상승하고 있음을 알 수 있다. 그러나 6일의 전처리 과정을 거친 유리 볼의 경우 초기 상태보다는 표면 거칠기가 향상되었으나 2일과 4일의 전처리 과정을 거친 유리 볼의 표면 거칠기 값의 사이에 data가 분포하고 있음을 볼 수 있다. 그러나 이것은 전처리 과정을 수행하기 전의 초기 상태에서 측정된 볼의 표면 상태를 관찰 범으로 해서 그 원인을 찾을 수 있다. 실험에 사용한 유리 볼의 초기 상태에서의 표면 거칠기 분포 영역을 살펴보면 6일의 전처리 과정을 수행한 유리 볼의 표면 거칠기 분포 영역과 표준편차를 확인하여 보면 2일과 4일의 전처리 과정을 수행한 볼의 그것들 보다 훨씬 넓은 영역을 가진다. 6일의 전처리 과정을 수행한 유리 볼의 표준편차를 살펴보면 약 40% 정도 나머지 볼들에 비해 크게 나타나고 있는 반면, 다른 두 볼은 거의 동일한 값을 취하고 있다. 이것은 초기 상태의 볼이 나머지 볼에 비해 상대적으로 표면 상태가 불규칙하여 그림 5와 같이 6일의 전처리 과정을 거친 볼의 결과가 낮게 나타나게 된 원인으로 분석된다. 따라서 초기 상태의 불규칙적인 표면의 형상을 나머지 볼과 비슷한 것을 사용하였다는 가정을 하고 data에 보정을 가하게 되면 그림 6의 점선으로 표시한 값의 주위에 실제 data가 위치하게 되리라 본다. 이러한 결과로 전처리 수행 효과는 92시간(4일)을 전후해서 가장 큰 효과를 가져올 수 있으리라 사료된다. 또한 전처리의 수행 시간이 이후 가공의 속도에 영향을 미치게 되어 가공 속도를 향상시키는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론



	2일	4일	6일
표준편차	10.2741	10.7189	14.1926

Fig. 6 Effect of dipping in pure water before polishing

본 연구에서는 볼의 초정밀 연마가공과 관련된 기초 실험을 수행하였다. 본 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 슬러리를 이용한 비접촉식 가공에서 유리볼은 가공 시간의 경과에 따라 점차 균일한 표면 상태를 가진다.
- 2) 슬러리를 이용한 볼 가공에 있어 가공 시간의 증가에 따라 가공속도가 가속화된다.
- 3) 전처리 과정을 통하여 유리볼은 순수속에서 화학적 반응에 의해 수화반응이 발생하고 이것은 유리볼의 연마가공 능력에 영향을 미친다.
- 4) 전처리 과정의 시간은 유리볼의 가공 속도에 영향을 미친다.

참고 문헌

1. 田 順二, "眞求を磨く" 砥粒加工學會誌 Vol.36 No.3 1992.JUL
2. 稻場 千佳郎 外 3名, 浮上回轉方式による球体の塗裝方法の一提案, 日本機械學會論文集(C編) 64卷 625 (1998-11)
3. 黒部 利次 外 2名, スピン角度制御型ボール研磨 精密工學會誌 Vol.62, No.12, 1996
4. WWW.ballsemi.com
5. 工業材料加工學 김낙수외 2명 半島出版社 1994
6. 알기 쉬운 精密工學, 中澤 弘 韓國經濟新聞社 1997
7. 工業재료가공학 진중태 외 2명 반도출판사
8. 鋼球研磨におけるウェビネスの生成に及ぼすラップの溝深さの影響 後藤賢治 精密工學會誌 No.1. 64, No. 5, 1998