

새로운 가공분위기를 제어하는 벨자 타입의 밀폐형 CMP 장치와 가공 특성

본 고의 내용은 가공부의 분위기를 제어하고 가공장치 전체를 벨자(챔버)로 씌워 밀폐하고 그 안에서 가공하는 새로운 벨자형의 폴리싱 장치에 관한 것이다. 필자들이 고안, 시작한 밀폐 벨자형 폴리싱 장치는 벨자내에 각종 가스를 투입함과 동시에 일정 압력 하에서 또는 벨자내를 감압(진공)함으로써 가공부 전체의 분위기를 일정 조건으로 제어하는 것이 가능하다. 이 장치를 적용하여 다양한 가공환경 분위기 하에서 SiC와 사파이어 등의 어려운 가공 재료를 포함하는 각종 기능성 재료의 가공을 시험한 가공 특성을 소개함과 동시에 가공 메커니즘에 대해서 고찰하기로 한다. 한편, 본 원고의 번역에는 (주)그린광학의 김동균 부장이 도움을 주셨다. <출처: 월간 광기술컨택트 2006년 1월호>

<편집자 주>

1. 연마 기술의 기원과 발전 동향

랩핑, 폴리싱으로 대표되는 “유리(저립가공: 떨어져 헤어짐)저립 가공”은, 유사 이래, 경험적으로 소위 “닦기”, “광택내기”의 수단으로서 적용된 상당히 오래된 역사를 갖고 있다. 정확한 시점은 불확실하지만, 적어도 기원전 4000년(고대 이집트 시대)에 이미 귀금속·보석류 등의 광택을 내는 것에 적용되고 있었다. 일본에서도 구옥 등의 장식품의 예에서 알 수 있듯이, 옛날부터 “닦기”가 상용되어 온 것을 알 수 있다.

유리 저서가공은, 광부품을 비롯해 다양한 분야로 폭넓게 적용되어왔다. 특히 1800년대에 이르러 천연 저립을 대신하는 인조 저립이 개발되어, 연삭 등 고정저립가공도 포함하며 근대 공업을 유지하는 기간 기술로서 급속하게 발전했다. 한편으로 공업의 근대화는 전자산업의 발전에 힘입은 바가 매우 크다. 전자공학의 대표적 성과로서 IC, LSI, ULSI 기술은 ‘무어의 법칙’ 대로 그 진보·발전이 매년 눈부시게 성장해왔다.

단결정 실리콘(Si)웨이퍼를 이용하는 초LSI기술은 웨이퍼의 대구경화(Ø300nm)와 하프 핏치 100nm 이하의 미세화 등의 일반화에 상징처럼 급속한 진보를 이루었고, 현재의 ULSI디바이스, 특히 로직/DRAM 혼재 로직의 디바이스는 초미세화에 대

한 견인차가 되었다. 이와 같은 기술의 혁신 배경에는 전자, 물리, 광학, 기계, 화학, 계측 등 다양한 공학분야를 기초로 하는 프로세스 기술의 부단한 진보가 있었다. 특히, 고성능 다기능 LSI이면서 실질적으로 저가격화를 할 수 있는 것은, 대구경 실리콘웨이퍼에 균일하게 수율이 높은 LSI 디바이스 칩의 가공이 가능하고 생산성이 향상되어 왔기 때문이며, 다양한 가공기술의 발전이 현재의 LSI 산업을 유지하고 있다고 해도 과언이 아니다.

LSI 산업을 비롯하여 전자부품에 적용되는 재료는 종류가 매우 많다. Si를 비롯해 산화물, 메탈, 사파이어, 세라믹 등의 부품의 성능을 충분히 발휘시키기 위해서는 고정도·고품질은 물론 동시에 고효율로 가공하는 것이 일반적인 요구사항이다. 또한 신규부품, 시스템에 요구되는 구성재료로서 새로운 기능성 재료의 출현이 예상되기 때문에 가공기술의 범용성이 필요하다. 기능성재료를 고성능 전자부품으로 하는 초정밀 가공법은 가공단위의 크기를 제한하지 않고 작게 할 수 있는 유리저립 가공이 적합하다. 황삭가공에 대해서는 랩핑, 마무리 가공에 대해서는 폴리싱, CMP(Chemical Mechanical Polishing)이 적용되고 고성능 부품용 재료의 가공에서는 특히 최종 마무리 가공이 가장 중요하다.

현재 주목받고 있는 CMP의 기초적인 폴리싱 가공형태는 공구로 패드 위에 슬러리를 흘리면서 피가공물을 누르면서 갈아내는 방법이 있다. 그러나 지금까지는 폴리싱과 같이 깎아내는 가공방법으로 행해왔다. 특히 화학적인 작용을 복합화한 CMP는 안정된 가공특성을 확보하기 위해서 가공부 전체를 제어하고 일정한 환경 하에서 가공해야만 했다. 현재 상태의 CMP는 진정한 의미로는 가공부 전체의 분위기를 모두 제어하고 있었던 것은 아니다. 앞으로는 신기하고 다양한 기능성 재료의 출현과, 안정되며 효율이 좋은 최적의 가공조건하에서 CMP를 가공하는 것을 고려하지 않으면 안된다. 이러한 배경으로부터 CMP 기술을 확립하기 위해, 가공 메커니즘의 해명을 도모함과 동시에 새로운 CMP 장치를 구축할 필요성이 대두되었다.

본 고의 내용은 가공부의 분위기를 제어하고 가공장치 전체를 벨자(챔버)로 씌워 밀폐하고 그 안에서 가공하는 새로운 벨자형의 폴리싱 장치에 관한 것이다. 필자들이 고안, 시작한 밀폐 벨자형 폴리싱 장치는 벨자내에 각종 가스를 투입함과 동시에 일정 압력 하에서 또는 벨자내의 감압(진공)함으로써 가공부 전체의 분위기를 일정 조건으로 제어하는 것이 가능하다. 이 장치를 적용하여 다양한 가공환경 분위기 하에서 SiC와 사파이어 등의 어려운 가공 재료를 포함하는 각종 기능성 재료의 가공을 시험한 가공 특성을 소개함과 동시에 가공 메커니즘에 대해서 고찰하기로 한다. 본 고가 장래형 폴리싱 특히 CMP의 새로운 기술의 단서를 개척하는데 일조하기를 바란다.

2. 밀폐 벨자형 가공 분위기 컨트롤 폴리싱과 그 장치

당초 본 폴리싱법을 고안한 배경에는 특히 CMP와 같이 화학적 작용을 부가·복합화 하는 까닭으로 폴리싱 특성이 온도와 화학액 등의 분위기에 민감하고, 그것만으로도 불안정한 요소를 갖고 있다. 폴리싱을 하는 장소에 의해서도 기압(대기압)이 다른 것도 걱정이 되는 부분이다. 예를들면 통상의 대기기압은 사이타마대학(해발20m 전후)과 미국의 애리조나대학(해발820m 전후)에서 각각 1010hPa, 910hPa, 100hPa(약 100g/cm³) 전후의 차이가 있다. 즉, 사이타마대학과 애리조나대학에서는 가공법과 가공조건을 동일하게 하더라도 100g/cm³ 전후의 가공압력의 차이가 발생하게 된다. 이러한 배경으로부터 깎아내는 형식의 가공방식을 재검토하고 안정된 가공특성을 얻기 위해서 지금까지의 폴리싱, 특히 CMP를 행하는 경우 엄밀한 의미에서 가공장치의 주변의 분위기를 제어할 필요가 있다.

고안된 장치는 가공부 전체의 기압분위기를 변화시켜 제어 가능한 특징을 갖는 소형 폴리싱 장치(플롯타입)가 있다. 스테인레스제의 내기압 환경 용기 벨자(챔버)에 의해서 가공부 전체를

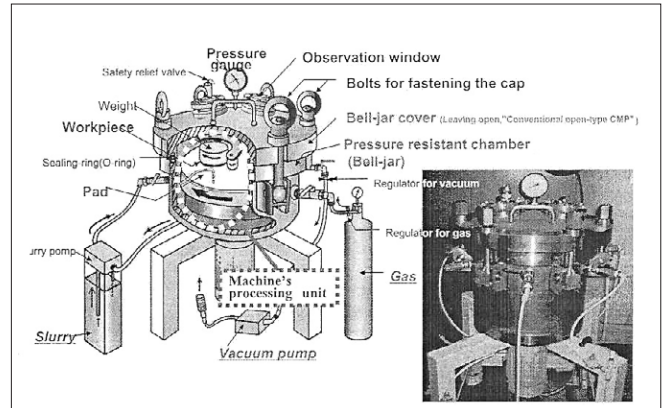


그림1. 밀폐 벨자형 CMP 장치의 구조막식 그림과 외관사진(컨트롤러를 제외한 본체만)

완전하게 씌워서 진공펌프 또는 에어컴프레서의 다양한 가스봄베(Bombe)등으로 일정한 기압과 분위기 조건하에서 벨자 내의 환경을 변화, 제어시킬 수 있다는 가장 큰 특징이 있다. 벨자 내에 투입하는 가스는 에어 외에 사소, 질소, 아르곤, 탄산가스, 암모니아 등 각각의 단독 또는 복수의 가스를 투입할 수 있고 가공 중에 가스 종류의 변경이나 벨자 내 압력도 임의의 변경이 가능하다. 이러한 특징을 갖기 때문에 본 장치를 “벨자 형의 가공 분위기 제어 폴리싱 장치”라고 명칭한다.

그림 1에 고안된 밀폐 벨자형 CMP 장치의 구조막식 그림과 외관사진(컨트롤러를 제외한 본체만)을 표시한다. 벨자 내의 압력은 게이지 압으로 0(대기압)~+1000kPa의 범위에서 각종 가스를 충전하고 여압할 수 있다. 또 진공 펌프로 -300kPa 까지 벨자 내를 감압 할 수 있다. 가공 형태는 일반적인 폴리싱 장치와 같은 모양인 링식 폴리싱법을 채택하였다. 벨자의 내압 용기에는 압력계, 가스 공급, 배출구 시창(석영 유리), 슬러리 공급, 배출의 배관 등을 장착하고 있다. 시료에 가하는 가압 압력은 데드웨이트 방식을 채택하고 패드(플라틴)의 회전수는 컨트롤러가 있는 손잡이에 의해서 10~100rpm 까지 임의로 설정할 수 있다. 슬러리는 펌프에 의해서 순환방식으로 강제적으로 패드(φ200mm) 위에 공급하는 것으로 하고, 벨자 내의 압력을 고려하여 일정한 공급 속도를 유지 할 수 있다.

여기에서는 옅도일렉트로닉스 재료 중에서 재료의 안정성과 산화성이 다른 실리콘, 메탈 동막(전기 도금 Cu 막), 실리콘 산화막(P-TEOS), 사파이어(Al₂O₃)를 피가공물로 하며 각각의 가공 특성을 소개한다. 벨자 내의 분위기는 대기압(통상의 CMP), 감압(진공) 및 각종 가스 투입에 의한 여압, 각각의 환경 하에서 CMP 가공특성을 파악한다. 벨자 내의 분위기와 압력은 피가공물의 산화성을 고려하고 특히 슬러리 내의 용존 산소가 가공특성에 영향을 미치는 것도 고려하고 에어, 산소, 질소 및 아르곤 등의 불활성 가스등의 각종 가스를 준비하고 투입 가스에 의한 환경과 압력을 변화시킨다.

적용된 슬러리는 실리콘 및 사파이어용에는 콜로이드실리카 (Compol-80/후지미 인코퍼레이티드사 제품)를, 실리콘 산화막용에는 흄드실리카(SS-25/카봇사 제품)를, Cu용에는 알루미나계 슬러리(EP-C5001/카봇사 제품)를 각각 사용했다. 단, Cu용 슬러리에 대해서는 일반적으로 과산화수소(H₂O₂)를 첨가하여 CMP를 행하지만, 여기에서는 용존산소 등에 주목하여 가공 메커니즘을 추구하는 관점에서 산화제를 포함하지 않고 가공특성을 파악했다.

3. 벨자 내 압력을 변화시켰을 때의 CMP 가공 사례

그림 2는 실리콘 산화막, Cu, 실리콘(Si)을 가공 대상으로 하고 에어에 의한 증압, 또는 감압으로 벨자 내 압력을 변화시켰을 때의 가공 리드의 변화곡선이다. 실리콘 Cu 모두 실리콘 산화막과 마찬가지로 진공측과 증압측의 양쪽에 있어서 가공 리드가 대기압하의 경우 통상적으로 CMP(게이지 압 0kPa)의 경우보다도 증가하지만 피가공물의 종류에 따라서 그 증가율이 다르게 나타난다. 여기에서 각 피가공별로 벨자 내의 분위기를 변화했을 때의 가공 특성에 대해서 조사한다.

그림 3은 실리콘을 피가공물로 했을 경우와 벨자 내에 공기 외에 산소, 불활성 가스로서 질소, 아르곤을 투입했을 경우의 가공특성 예이다. 벨자 내의 분위기 가스가 산소와 에어에서는 내부 압력이 높으면 앞의 실리콘 산화막의 경우와 마찬가지로 가공 리드도 증가하고 있다. 한편, 불활성 가스의 경우에는 현저한 가공의 리드의 증가가 보이지 않고, 특히 벨자 내 압력을 질소 가스로 하더라도 가공 리드가 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 특히 벨자 내의 분위기 압력이 높은 경우, 공기와 산소의 그룹과 불활성 가스 그룹으로 나누어지는 것이 흥미롭다. 이것은 산화성 가스가 리드를 촉진시키는 하나의 요인이 되는 것을 시사한다.

산화하기 쉬운 Cu를 가공 대상으로 하면 이러한 차이는 더욱더 현저하게 된다. 산소 및 산소를 포함하는 에어에 의한 가스에서는 실리콘 산화막과 실리콘과 마찬가지로 벨자 내 압력 모두에 가공 리드는 증가하고 분위기 가스를 산소로 하여 내부 압력을 400kPa 이상으로 하면 더욱 현저하게 가공 리드가 상승한다. 그렇지만 벨자 내의 분위기 가스를 질소 및 아르곤 등의 불활성 가스로 한 경우 실리콘 산화막, 실리콘을 피가공물로 한 경우와 같이 벨자 내 압력을 증가하더라도 가공 리드의 상승은 없고 오히려 가공 리드가 극단적으로 저하하는 것을 알 수 있다. 이것은 Cu의 CMP의 가공 메커니즘에서 옛날부터 말해왔던 것처럼 「동의 표면에 동의 산화막이 형성된 후, 그 산화막을 기계적으로 제거한다.」라고 하는 가공모델을 뒷받침하는 것이다.

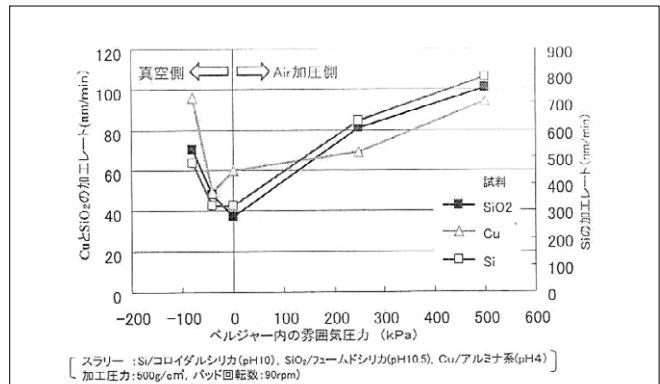


그림2. 에어에 의한 증압, 또는 감압으로 벨자 내 압력을 변화시켰을 때의 가공 리드의 변화곡선

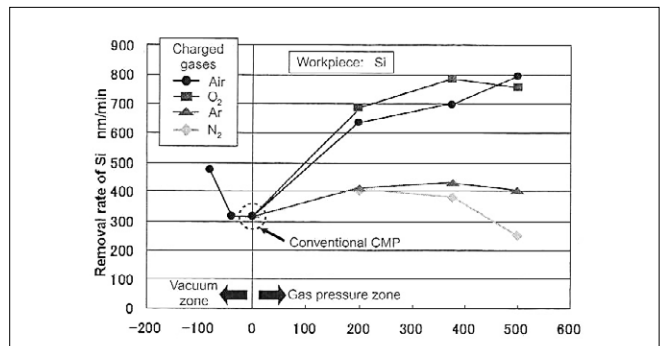


그림3. 실리콘을 피가공물로 했을 경우와 벨자 내에 공기 외에 산소, 불활성 가스로서 질소, 아르곤을 투입했을 경우의 가공특성 예

Cu 재료를 진공측에서 CMP가공한 경우 실리콘 산화막과 실리콘 등의 경우와 다르게 가공 리드의 상승은 거의 없다. 일반적으로 Cu는 산화되기 쉬운 메탈이지만, 불활성 가스의 경우와 마찬가지로 에어가 존재하지 않으면 Cu의 표면에 산화막이 형성되지 않고, 가공 촉진을 제어하는 작용으로 추측된다. 오히려 벨자 내부 압력을 감압(진공측)한 경우, 가공 경계면에 마찰열을 가두는 효과등도 원인으로 열거 할 수 있다.

이상으로부터 가공하는 재료와 벨자 내에 투입하는 분위기 가스의 종류와 그 내부 압력에 의한 CMP 가공특성이 크게 다른 것을 분명하게 알 수 있다.

그림 4는 벨자 내부를 에어, 산소, 질소, 아르곤의 각종 가스로 채우고 그 내부 압력을 500kPa로 했을 때, 또는 진공(-90kPa)으로 했을 경우에 대해서, 산화 실리콘 막(SiO₂), 실리콘(Si), Cu막, 사파이어 4종의 가공 리드를 정리하고, 대기압에서 행한 통상의 CMP와 비교한 차트 그림이다. 진공 상태인 경우의 가공 리드는, 통상의 CMP의 경우보다 1.1~1.5배로 되어있다. 한편, 벨자 내에 가스를 투입한 경우, 투입 가스 종류에 따라 가공 리드가 크게 다른 것에 주목 할 필요가 있다. 통상의 CMP에 대한 벨자형 CMP의 가공 리드비를 α라고 하고, 그림 안의 ()내에 그 수치를 명기하고 있다.

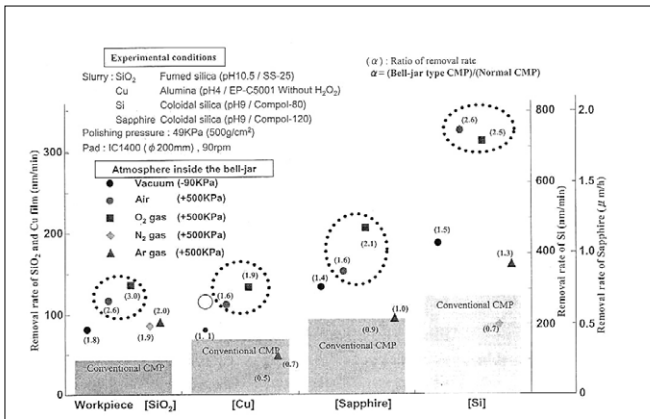


그림4. 벨자 내부를 에어, 산소, 질소, 아르곤의 각종 가스로 채우고 그 내부 압력을 500kPa로 했을 때, 또는 진공(-90kPa)으로 했을 경우에 대해서, 산화 실리콘 막(SiO2), 실리콘(Si), Cu막, 사파이어 4종의 가공 리드를 정리하고, 대기압에서 행한 통상의 CMP와 비교한 차트 그림

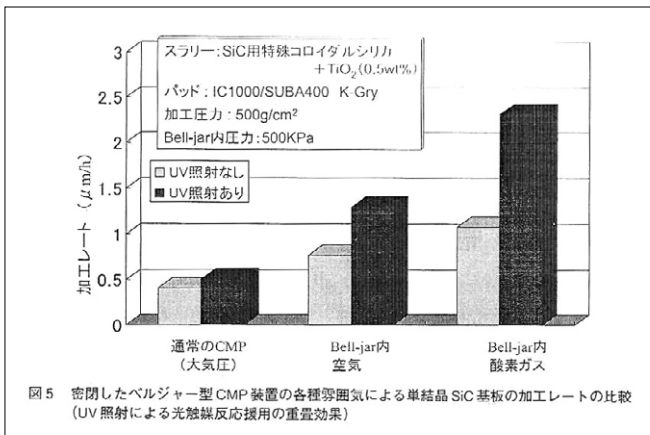


그림5. 고압 산소 분위기에서 벨자형 CMP를 행할 때 코로이드실리카 안에 미량의 티타니아(TiO2) 입자 첨가의 슬러리에 장치 부속의 유리창으로부터 자외선을 조사하면서 SiC 기판의 가공을 행하는 경우 통상시의 4배를 초과하는 가공 리드가 달성된다.

벨자 내의 분위기를 에어 및 산소로 했을 때, 가스가 직접 피가공물 표면에 작용할 가능성은 적고 액체 사이에 끼인 가스가 피가공물에 영향을 준다고 생각하면, 가공 리드의 촉진은 슬러리 안의 용존 산소에 관계된다는 것을 시사한다. 산화막과 실리콘 등은 고압 산소가 벨자 내에 충전되는 것에 의해서 슬러리 안에 용존 산소가 증대하여 보다 수화반응이 촉진되어 가공 리드가 상승하는 것으로 고찰된다.

사파이어의 경우도 벨자 내부를 고압 산소로 채우므로써 α를 2.0으로 하는 것이 가능하다. 반면, 실리콘의 경우와 같이 벨자 내부를 불활성 가스로 채우더라도 가공 리드의 증대는 되지 않는다. 이들 결과로부터 사파이어의 경우 가공 메커니즘도 실리콘과 마찬가지로 가공 표면의 수화반응이라고 생각하면 알기 쉽다. 즉, 고압산소 분위기하에서 슬러리 안에 용존산소가 고밀도가 되고 산소 원자를 사이에 둔 시로키산 결합처럼 결합 찬스가 증대하는 결과, 사파이어 결정 내부의 백본드가 약하게 되어

결합이 끊어지는 것으로 생각되어진다.

상기의 고찰은 SiC 기판의 가공이라도 마찬가지로 경향이 있다. 그러나 단결정 SiC 기판은 기계적으로나 화학적으로나 극히 안정되어 있기 때문에 Si-C의 강력한 결합을 더욱 쉽게하고 “광촉매 반응을 원용”하는 것을 시험했다. 고압 산소 분위기에서 벨자형 CMP를 행할 때 코로이드실리카 안에 미량의 티타니아(TiO2) 입자 첨가의 슬러리에 장치 부속의 유리창으로부터 자외선을 조사하면서 SiC 기판의 가공을 행하는 경우 통상시의 4배를 초과하는 가공 리드가 달성된다(그림 5). 이것은 산화성 가스가 TiO2의 광촉매반응에 의한 활성산소 발생을 조장하고, 가공 리드가 향상하는 것을 시사하는 것이다. 또 표면거칠기도 양호(Ra:0.2nm 이하)했다.

이상과 같이 밀폐식 벨자형 CMP 장치에 있어서 고압산소 분위기와 광촉매 반응원용에 의해서 이제까지 매우 곤란했던 SiC 등의 난가공성 재료들도 효율 좋게 고품위로 가공이 가능한 단서를 보게 되었다.

4. 맺음 말

CMP 장치를 내압밀폐용기(벨자)로 싸고 그 벨자 내부를 여러 가지 분위기 가스로 가압 또는 진공상태에서 환경을 제어할 수 있는 새로운 “밀폐벨자형 가공 분위기 컨트롤 CMP법”과 그 시작장치에 의한 옴토메카트로닉스용 재료의 가공특성 사례에 대해서 소개했다.

본 고에서 서술했듯이 밀폐벨자형 CMP에 관해서는 옴토메카트로닉스 분야에 있어서 장래 가공기술로서 상당히 흥미있는 실험결과가 나올 것이다. 고안한 본 가공방법·장치에 의해서 가공중에 가공 메커니즘을 변화시키면서, 가공리드와 가공면 품질을 제어하는 것, 또한 난가공재료에 대한 효과적 가공도 가능하고 차세대의 프로세서이터그레이션을 목표로 하는 CMP 장치로서 기대된다. 그러나 현재의 가공 메커니즘이 아직 명확하지 않기 때문에 향후 더욱더 자세하게 검토 할 필요가 있다.