

반도체용 대구경관의 전해 복합연마에 대한 초정밀 가공 특성연구

이정훈*(인하대 대학원 기계공학과), 이은상(인하대학교 기계공학과)

A Study on the characteristics of ultra precision about Buffing and Electropolishing
for Semiconductor Large Radius Pipe

Jung Hun Lee* (Mech. Eng. Dept. Inha), Eun Sang Lee(Mech. Eng. Inha)

ABSTRACT

On this study, electrochemical polishing is adapted to ultra-fine surface for semiconductor large radius gas-tube. The system which buffing and electrochemical polishing can be performed simultaneously was constructed in connection with developing exclusive system. Based on existing papers and the research of background, electrode gap and electrolyte flow were fixed. Current density and electrochemical precision time were chosen as variables. On this study, it is objected to find optimal precision condition and precision variables on the in-process electrochemical polishing.

Key Words : large radius gas-tube for semiconductor (반도체용 대구경관), in-process electrochemical polishing (복합전해연마), electrochemical polishing (전해연마), buffing (버핑), optimal condition (최적조건)

1. 서론

반도체용 대구경 가스 이송관은 일반 기계가공에 의한 연마로는 최종제품의 고품질, 대량생산체제 구축이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 전해 복합 연마의 적절한 이용을 통해 표면정도 향상, 오염물 제거 효과, 내식성 산화막 형성으로 극도의 내식성 향상 등 제품의 질적 향상뿐 아니라 기존의 수작업 생산에서 자동화로 전환이 가능하게 하여 인건비, 원가절감을 기대할 수 있다. 이를 통해 제품의 대량생산 체제 구축이 가능하다.

본 연구에서는 반도체용 대구경 가스관의 고품위 가공을 위해서 전기화학 반응을 이용한 전해연마 방법을 적용하고, 극정정관에 버핑과 전해연마 순차적으로 적용할 수 있는 전해 복합연마기를 개발하여 이를 적용하여 최적의 가공 조건을 선정하는데 그 목적이 있다. 기존의 연해연마 방식은 고정전극을 이용하여 전해연마를 수행하는 방법이 대부분이지만 본 시스템에서는 유동전극을 이용하여 전해 연마를 수행하였다. 유동전극을 적용할 시에는 가공 메커니즘이 변하기 때문에 가공 조건을 달리 할 필요가 있다^{1,2}.

전해 복합연마 기술은 기계연삭(버핑가공)과 전

해연마 가공을 조합 시킨 가공법으로, 일반적으로 특수제작 된 연삭 공구에 의하여 연삭 가공을 한 후 전해폴리싱을 통해 연마효과를 발생시킨다. 따라서 본 연구를 통한 전해 복합 연마 기술은 스테인레스 재 및 스테인레스 합금재의 전해프로세스를 적용한 전해 복합연마 장치 및 방법에 관한 것으로 고효율의 전해연마 액을 적용하여 낮은 전류밀도 환경에서도 전해작용을 활성화시켜 단시간 내에 고능률 경면을 달성 시키는 방법에 대한 연구이다.

2. 기본 이론

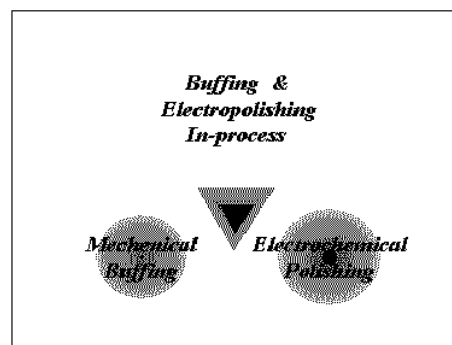


Fig.1 Principle of Combined Electropolishing

2.1 전해복합연마 시스템 장치구성

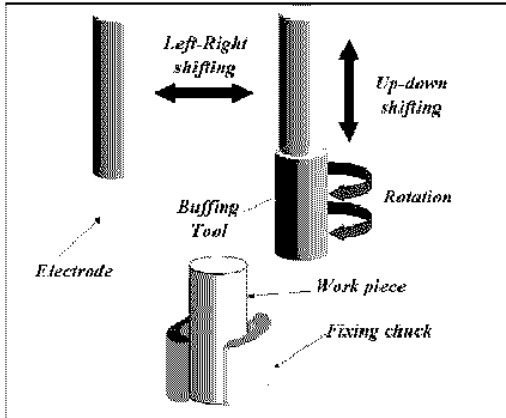


Fig.2 description of mechanical polishing

전해 복합연마는 기존의 기계적 폴리싱 방법(버핑)과 전해 폴리싱 방법을 동시에 수행할 수 있는 가공 방법으로 두 개의 공정을 일원화 하기 위해서는 시스템의 미세제어를 필요로 한다. Fig.2 는 버핑공정에서의 시스템의 동적 위치와 전해연마 공정 시의 위치를 도식적으로 나타낸 것이다.

버핑 시에는 브러시가 장착되어 있는 축이 회전하며 상하 운동할 수 있도록 제작하였다. 버핑 시간과 이송속도 제어가 가능하고 브러시의 마모를 고려하여 교체타입으로 설계되었다. 버핑 과정이 끝나면 브러시 축은 기준점으로 돌아가고 전극 축이 전해연마를 위해서 가공물의 센터에 위치하게 된다. 전해연마는 전극이 상하이동 하면서 전류가 인가 시에 수행된다.

2.2 전해연마의 원리

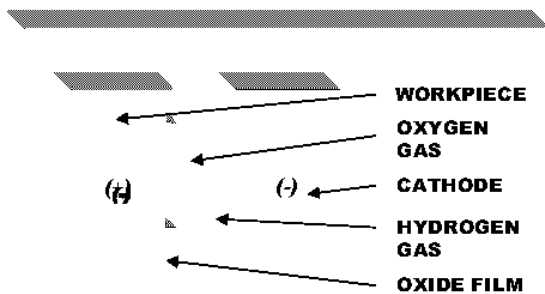


Fig.3 Principle of electropolishing

통전에 의해 용해한 금속이온은 양극부근에서 양극층을 형성하며 층내의 금속이온농도의 대소에 따라 전류가 제한을 받는다. 즉 돌출부는 이온의 이동

확산이 많아서 금속이온농도가 적고 후퇴부는 이온의 이동확산이 적어서 금속이온농도가 크다. 따라서 위 농도의 대소에 따라 농도분극이 발생하게 된다. 돌출부의 전류밀도는 증가하여 빨리 용해되고 후퇴부는 전류밀도의 감소로 인하여 늦게 용해되어 고른 표면을 얻을 수 있게 된다².

또한 전해연마 시 양극처리가 되므로 다소의 양극산화를 받게 된다. 전해연마에 의한 평활 광택면이 이루어지는 분극곡선 구간은 단순히 농도분극에 의해서 만이 아니라 양극에 생성된 산화피막에 의해서도 생긴다. 즉 산화피막은 후퇴부 보다는 전류가 집중하는 돌출부로부터 파괴되어 돌출부의 선택적 용해를 촉진하게 된다^{4,5}.

3. 실험장치 및 방법

3.1 버핑 장치 및 전해연마 장치

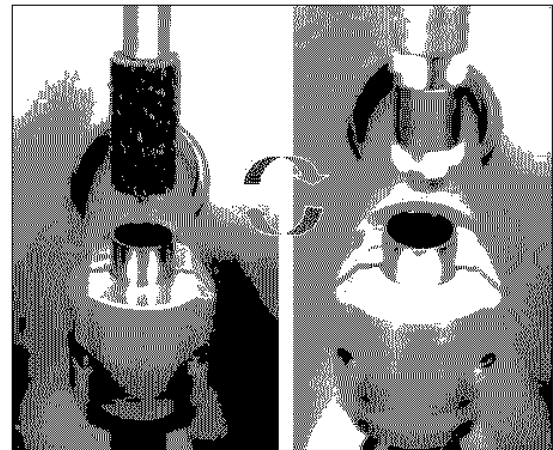


Fig.4 Buffing tool and Electrode

Fig.4 는 버핑 장치, 척킹 시스템, 전해연마 장치의 모습을 보여준다. 버핑 머신은 최대 가공길이가 60 mm 이고 회전속도는 0~1600 rpm 이고 이송속도는 3 cm/sec 로 하였다. 척킹 시스템은 공압으로 제어되며 척킹시 무리한 힘의 소요가 아닌 최적의 그래프를 유지시켜 줌으로써 버핑 공정 시 가공의 정밀도를 높여주고, 전해연마 시에 전극의 이동을 원활하게 해준다. 전해액에 의해 부식되는 것을 방지하고자 알루미늄을 사용하여 본 척킹 시스템을 제작하였고, 자동 제어할 수 있도록 하였다. 전해액의 원활한 공급을 위해서 전해액은 순환하도록 제작하였다

본 연구에서는 전해연마 전용 전극은 황동으로 제작하였고, 위에서 아래로 이송하여 전해연마를 시작하며, 전극 표면 넓이는 31 cm²이고, 전극이송속도는 1 cm/sec 로 하였다. 전극과 스테인레스판 사이의 간

적은 1mm로 하였다.

기존의 고정전극을 사용하여 전해 연마 하는 경우와는 달리 유동 전극을 사용하기 때문에 전해 연마 시간, 즉 전극의 이송 속도가 실험 변수로 설정되었고 동일한 이유로 전류밀도 역시 가변 실험치로 설정하였다.

3.2 실험조건

Table 1 Experimental condition 1

EP Power supply	600V(max), 30A (max)
Workpiece(anode)	STS304 & STS316 D=38mm(inside diameter), 35mm(outside diameter)
Electrolyte	Phosphoric acid (H ₃ PO ₄) Sulphuric acid (H ₂ SO ₄) Distilled water
Electrode(cathode)	Cu
Jig	Aluminum
Surface roughness tester	Talyplofile3.0 (Surtronic 3+)
Electropolishing condition	Electrode total area -31 cm ² Electrode gap-1mm
Buffing condition	Rotational speed -1600rpm Feedrate - 3cm/sec Tool bar - aluminum

Table 1 에서처럼 전해연마와 버핑가공의 몇가지 조건을 고정변수 값으로 한다. 전해액의 인산과 황산 증류수의 비율, 그리고 간극은 기존의 연구결과를 바탕으로 5:3:2의 비율로 하고 간극은 1mm의 크기로 하여 변수값을 고정시킨다³.

전가공인 버핑가공 역시 톨의 회전속도, 이송속도 왕복횟수를 고정 변수로하고 가공 톨을 변수로 하여 전해연마 시에 가장 좋은 표면거칠기를 가지는 톨을 찾는 실험을 수행하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 버핑 공구에 따른 표면거칠기

버핑 실험에서는 Fig.5에서 보는 바와 같이 4가지 버핑 톨을 가지고 실험하였다. 실험결과 양모에 #2500 컴파운드를 입힌 브러쉬가 가장 좋은 표면거칠기를 가지는 것을 볼 수 있다. 이와 거의 비슷한 효과로 부직포도 양호한 표면 거칠기를 가진다. 하지만 전해 복합연마를 In-Processing으로 진행하기 위해서는 버핑 때 마다 컴파운드를 입혀줘야 하는 번거로움 때문에 거의 유사한 효과를 내는 부직포로

공구툴을 제작하여 실험하였다.

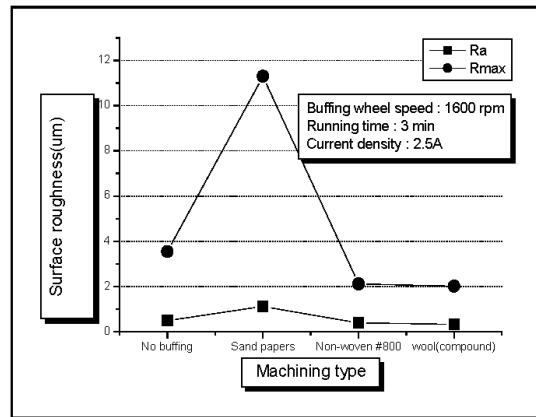


Fig.5 Surface roughness varying buffing tool

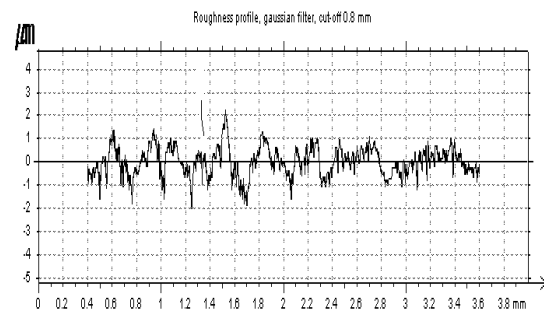


Fig.6 Non-woven #800 roughness profile (3 min)

Fig.6 는 부직포(Non-woven)로 버핑하여 얻는 표면거칠기 프로파일이다. Sand-paper 의 경우 오히려 표면 품질이 안 좋아진 것을 볼 수 있다. 이는 Sand-paper 의 가공 입자의 크기가 크고 거칠기 때문에 피삭재의 표면에 스크래치를 발생시키므로 표면 품질을 떨어뜨린다. 그러므로 정밀도를 요하는 반도체용 대구경 관의 경우 사용하기에는 부적절한 공구이다.

기존의 고정 전극을 사용하여 전해 연마를 하는 경우에 1.5A 에서 가장 좋은 표면 거칠기를 가졌기 때문에 이를 토대로 전류밀도 값을 고정하여 각각의 버핑 톨로 가공한 대구경관을 전해연마 하였다³. 실험결과 전 가공에서 좋은 표면 거칠기를 가진 관을 전해연마 했을 때 더 좋은 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었다.

4.2 전해연마 시간과 전류밀도에 따른 표면거칠기

전 가공에서 부직포로 버핑 공정을 수행하였을 때

양질의 표면 거칠기 값을 얻었기 때문에 부직포로 전 가공 후에 전해연마를 수행하였다. Fig.7 은 전류인가 시간을 10 초, 20 초, 30 초로 주었을 때 전류변화 값에 따른 표면 거칠기 값을 보여준다. 전해연마 시간을 10 초를 주었을 때는 1.25A 에서 가장 좋은 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었다. Ra 값은 $0.423 \mu\text{m}$, Rmax 값은 $3.19 \mu\text{m}$ 로 측정되었다. 표면 거칠기를 측정된 결과 전반적으로 만족할 만한 값을 얻을 수 없었다. 전체적인 표면 거칠기 값을 비교해 볼 때 극청정 관에 사용하기에는 부적절하다.

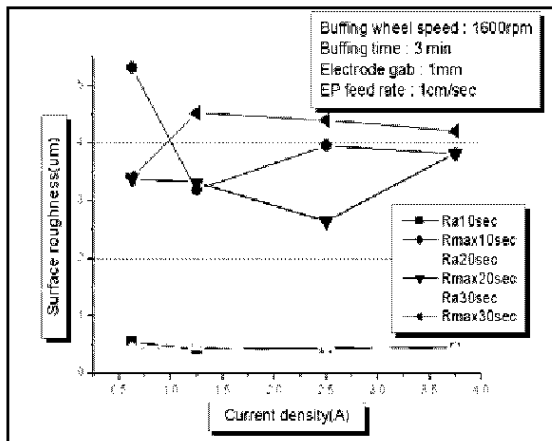


Fig.7 Varied Surface Roughness with Current

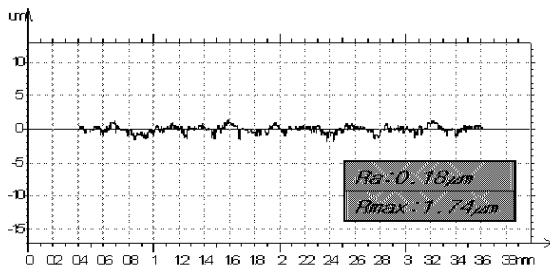


Fig.8 final roughness in optimal condition

전해연마 시간을 20 초로 주었을 때 2.5A 에서 표면 거칠기 상태가 매우 양호하게 나왔다. Fig.8 은 전해연마 시간을 20 초로 주고 2.0A 의 전류를 인가했을 때 표면거칠기 값의 프로파일이다. Ra 값은 $0.18 \mu\text{m}$, Rmax 값은 $1.74 \mu\text{m}$ 로 측정되었고 2.5A 이상의 경우 오히려 표면 거칠기 값이 나빠진다. 이는 높은 전류상태에서는 pitting 자국이 생기거나 간극과 전류세기 간에 불완전한 화학반응을 유발하는 조건이 상호 작용한 것으로 간주된다.

30 초 동안 전류를 인가 했을 때는 20 초 동안 전류를 인가 했을 때 보다 표면 품질은 떨어진다. 20

초 이상 전류를 인가 했을 때는 표면 거칠기 뿐 아니라 피팅 자국이 생기거나 타는 현상이 발생하여 표면에 손상을 가져온다.

Fig.9 는 고정전극을 사용할 때의 전류밀도 분포를 나타낸다. 고정전극을 사용할 시에는 전극주위에도 전기장이 형성되기 때문에 가공부위가 전극 일부분의 표면적보다 작거나 비슷하게 제작되어야 한다.

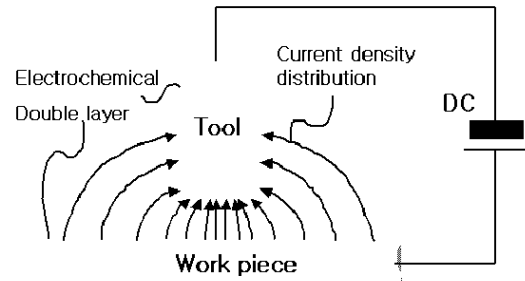


Fig.9 The geometric arrangement of tool and workpiece for fixed electrode².

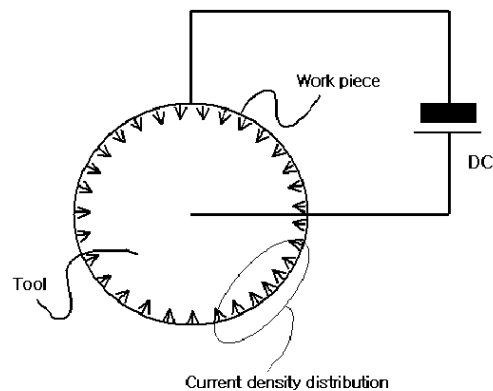


Fig.10 The geometric arrangement of tool and workpiece of moving electrode

반도체용 대구경관의 경우 Fig.10 에서 보는 바와 같이 가공표면적 대비 전류밀도의 분포 형상이 균일하게 형성되는 것을 알 수 있다. 즉 안정된 전해연마 효과를 얻을 수 있고 유동전극을 사용함으로써 나타날 수 있는 불안정 효과를 최대한 줄일 수 있다. 동일 면적(본 실험에서는 31 cm^2)에 대한 고정전극과 유동전극의 가장 효과적인 전류 밀도는 고정전극의 경우³ 1.5A, 유동전극의 경우 2.5A 에서 최적의 효과를 보였다.

Fig.11 은 복합전해 연마 전과 후의 3 차원 형상을 비교한 사진이다. 3 차원 사진에서 보는 바와 같이 복합전해연마 후의 표면 상태가 매우 양호해진 것을

알 수 있다.

참고 문헌

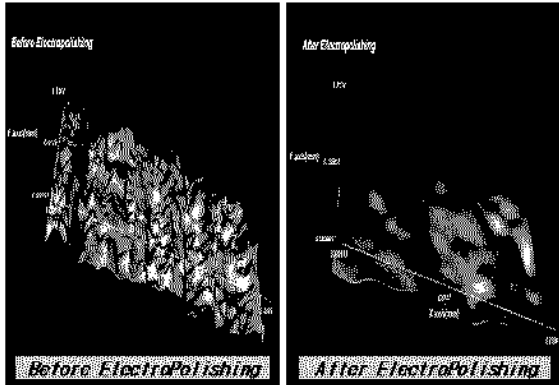


Fig.11 Comparison with before electropolishing and after electropolishing

5. 결론

전해연마를 통해서 청정 표면과 고품위 가공 표면, 안정된 표면상태를 얻기 위해서는 전가공에서 우수한 표면상태를 얻었을 때 그 효과를 극대화 할 수 있다. 그 예로 BA(Bright annealing) 관⁷을 전해연마 하였을 경우 90 nm 정도의 극미세 표면을 얻을 수 있었다. 하지만 반도체용 대구경 관의 경우 대량 생산체제 구축을 필요로 하는 제품이므로 양산 시스템을 설계할 시에 버핑 공정 후에 BA 작업을 하는 것은 무리가 있는 것으로 사료된다.

전해연마 조건은 실험에 의해서 가장 안정적이고 효과적인 데이터 조건을 확립할 수 있으므로 In-Processing 전해복합 연마에 경우 선가공에서 표면 거칠기를 최대한 안정화 하는 것이 가장 우수한 제품을 만들어 낼 수 있는 조건변수라고 할 수 있다.

유동 전극을 사용하기 때문에 발생할 수 있는 전류 밀도의 불안정한 분포효과는 대구경 관의 경우 전류 밀도의 분포가 안정적으로 작용하기 때문에 적절한 간극조절과 전해가공 시간, 전류밀도의 세기를 찾아냄으로써 안정된 가공이 가능하다. 본 연구에서는 부직포를 이용하여 3 분간 버핑 가공 한 후에 20 초 동안 2.0A 로 전류를 인가 했을 때 최적의 표면 거칠기 값을 얻었다. 또한 전극의 이동과 함께 전해액이 원활히 순환하는 메카니즘은 고정전극을 사용할 때 발생하는 부적절한 전해액 공급의 문제를 극복할 수 있다.

후기

본 연구는 인하대학교 소재경량화 TIC 연구비 지원에 의하여 연구 되었음.

1. Kovacheva, R., Zadgorsky, S. and Lilova, A., "Electrolytic Polishing of Zn-Al-Cu Alloys", *Prakt, Metallogr* 30, pp.62-72, 1993.
2. M. Kock, V. Kirchner, R. Schuster, "Electrochemical micromachining with ultrashort voltage pulse-a versatile method with lithographical precision", *Electrochimica Acta*, 48, 2003
3. Lee, E. S., Park, J. W. and Moon, Y. H., "Development of Ultra Clean Machining Technology with Electrolytic Polishing Process", *International Journal of KSPE*, Vol. 2, No.1, PP.10~25, 2001
4. Davis, R.L., "An Electropolishing Primer", *Products Finishing*, pp.68-71, 1995.
5. Kovacheva, R., Dafinova, R. and Gidikova, N., "Electropolishing of Copper and Copper Base Alloy for Metallographic Inspection", *Prakt, Metallogr* 30, pp.558-566, 1993.
6. Kovacheva, R., Gidikova, N. and Lilova, A., "A new Electropolishing Technique for Metallographic Specimen Preparation of Zinc and Zinc Alloy", *Materials Characterization* 28, pp.205-211, 1992.
7. Watanabe, Y., "improvement of flatness of stainless steel slip in Sendzimir mill(Technique to prevent canoeing of strips in a vertical bright annealing furnace-2)", *Current advances in materials and processes*, vol.8 no.5, 1995