

유리의 미세 구멍 가공을 위한 구리 전극군 제작 및 전기 화학 방전 가공 시험

정주명, 심우영, 정옥찬, 양상식  
아주대학교 전자공학부

Fabrication of Copper Electrode Array and Test of Electrochemical Discharge Machining for Glass Drilling

Ju Myoung Jung, Woo Young Sim, Ok Chan Jeong, Sang Sik Yang  
Division of Electrical & Computer Engineering, Ajou University

**Abstract** - In this paper, we present the fabrication of copper electrode array and test of electrochemical discharge machining for the fabrication of microholes on Borofloat33 glass. .

Copper electrode array is fabricated by the bonding of silicon upper substrate and lower substrate and copper electroplate. The silicon upper electrode having microholes fabricated by ICP-RIE is the mold of copper electroplate. The lower substrate is used as the seed layer for copper electroplate after Au - Au thermocompression bonding with the upper substrate.

1. 서 론

MEMS(Micro ElectroMechanical Systems) 기술의 발달과 함께 전기 화학 방전 가공을 이용하여 유리를 미세 가공하는 기술이 개발되고 있다[1-2]. 전기 화학 방전 가공은 짧은 가공시간(수 ~ 수십 초)을 가지며, 표면이 비교적 매끄러운 장점이 있다. 기존 전기 화학 방전 가공은 단일 가공 전극을 사용하여 다수의 가공이 요구될 경우 많은 시간을 소비한다. 본 논문은 가공 전극으로 일정한 간격으로 배열된 구리 전극군을 제작하였으며 Borofloat33 유리 가공을 시험한다.

2. 전기 화학 방전 가공의 원리

전기 화학 방전 가공(ECDM : Electrochemical Discharge Machining)은 전해액과 양극, 음극, 전원장치로 구성되며 음극에서의 전기 방전 현상과 화학적 부식작용에 의해 가공이 이루어진다.

그림 1은 전기 화학 방전 개략도이다. 전해액 속에 담긴 두 전극에 전압을 인가하면, 전해액에 노출된 가공 전극인 음극에서 방전 현상이 발생하게 되며, 이때 가공 전극 주위의 국부적인 화학적 부식작용을 이용하여 가공물을 가공한다[4-7].

방전 현상은 전압을 전해액 속의 전극에 인가하면, 두 전극에서는 전기 분해 현상이 발생하게 되며 가공 전극인 음극 주위에서는 수소 가스가 발생하게 된다. 두 전극사이의 저항형에 의해 수증기의 발생량이 증가하여 음극을 감싸게 되고, 이때 전압이 임계 방전 전압 이상을 인가하게 되면 전해액에 노출된 전극 표면의 전류밀도가 높은 곳에서부터 방전이 일어난다[5-6].

가공물의 단면 및 표면은 알칼리 용액의 양이온의 이동도와 밀접한 상관관계가 있다. 일반적으로 NaOH 수용액은 임계 방전 전압은 KOH에 비해 높으나 가공 단면과 가공 표면 상태가 우수하기 때문에 널리 쓰인다. 수용액의 농도가 증가하면 수용액 속의 양이온들의 이동도가 증가되어 가공시간이 짧아지고 방전 발생 전압이 낮아진다[2-3].

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 이용하여 제작

한 구리 전극군을 음극으로 사용하고 50 % NaOH 수용액을 전해액으로 사용하여 전기 화학 방전 가공을 시험한다.

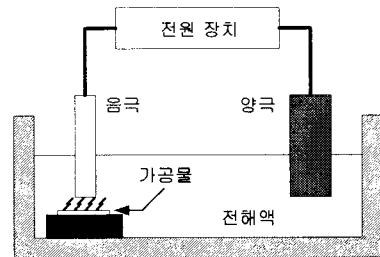


그림 1. 전기 화학 방전 개략도.

3. 전기 화학 방전 가공용 구리 전극군 제작

그림 2는 구리 전극군의 모식도이다. 골드-골드 열압착 본딩한 두 실리콘 시편위에 구리 원기둥이 일정한 간격으로 배열된 형태이다. 구리 원기둥의 지름은 100 μm 이고 높이는 400 μm이며 기판으로 사용된 실리콘 시편의 크기는 1.5 cm × 1.5 cm이다.

100 μm 두께의 상부 실리콘 기판은 전기 화학 방전 가공시 절연체 역할을 하여 전기 화학 방전이 구리 전극에서만 발생하도록 한다.

그림 3은 구리 전극군의 제작 공정도이다. 상부 기판용으로 두께 525 μm의 실리콘 기판위에 열산화막을 성장시키고 음성 광감재(JSR THB-151N, JSR社)를 20 μm 두께로 스펀 코팅한 후 JSR THB-151N을 hotplate에서 건조시킨다[8]. 사진 식각 공정에 의해 지름 100 μm의 원이 배열된 형태로 패터닝 및 열산화막을 제거한 후 ICP-RIE 공정으로 실리콘 기판을 관통하도록 식각한다. 식각된 기판위에 열산화막을 성장시키고 Cr/Au를 300 Å/5000 Å 증착한다.

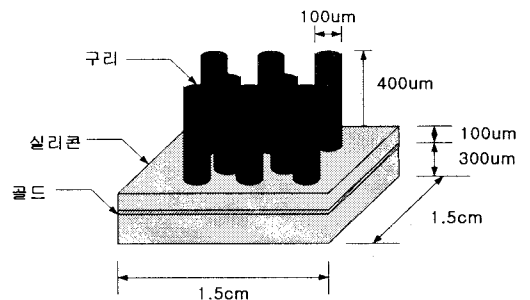


그림 2. 구리 전극군의 모식도.

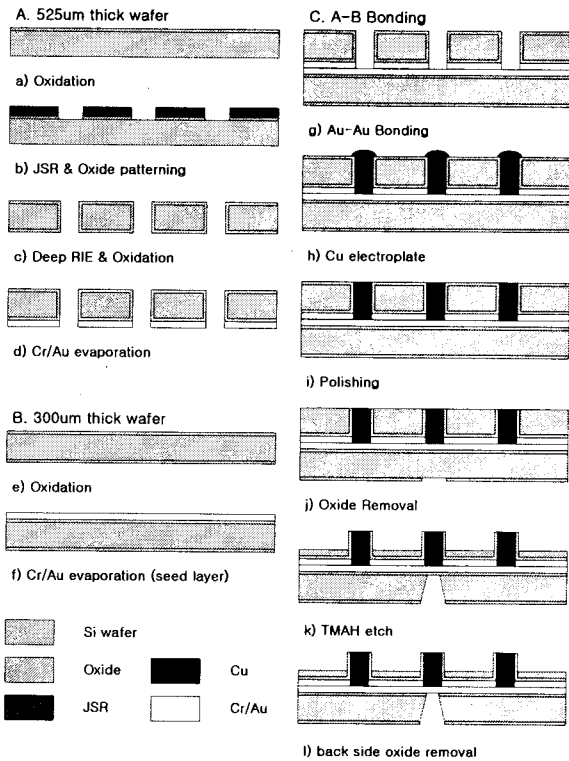


그림 3. 구리 전극군의 제작 공정도.

하부 기관용으로 두께 300  $\mu\text{m}$  실리콘 기관위에 열산화막을 성장하고 씨앗층으로 사용될 Cr/Au를 증착한다. 상부 기관과 하부 실리콘 기관을 일정한 압력에서 870  $^{\circ}\text{C}$  온도에서 골드-폴드 열압착 본딩한다.

본딩된 기관의 구멍을 황산구리 도금액을 사용하여 구리가 overflow 되도록 전기 도금한다. 도금된 구리 전극군의 높이가 일정하도록 물리적 연마로 overflow된 구리를 제거한다. 상부 기관 전면의 열산화막과 하부 기관의 전원연결부 산화막을 사진 식각 공정과 BOE 식각으로 제거한다.

TMAH를 사용하여 상부 기관은 절연용으로 사용하기 위해 100  $\mu\text{m}$  두께로 남도록 400  $\mu\text{m}$  깊이로 식각한다. 하부 기관은 전기 화학 방전 가공시 외부 전원 회로와 연결할 부분을 식각한다. 하부 기관의 전원 회로 연결부는 식각 후 silver paste를 사용하여 전선을 연결하였다.

그림 4는 제작된 구리 전극군의 사진이고, 그림 5는 구리 전극군에서 하나의 전극을 확대한 사진이다.

#### 4. 전기 화학 방전 가공 시험

그림 6은 제작된 구리 전극군을 사용하여 두께 350  $\mu\text{m}$  Borofloat33 유리의 전기 화학 방전 가공을 위한 장치도이다. 전해액으로는 50 % NaOH 수용액을 사용하고 양극으로 화학적 부식에 강한 백금을, 음극으로 제작된 구리 전극군을 사용하였다. 전원 회로로 반파 정류회로를 이용하였다.

그림 7은 가공한 Borofloat33 유리의 부분 사진이다. 인가 전압은 55 V이고, 가공 시간은 60초이다. 가공 구멍의 중심 부근의 돌출은 원기둥 형태의 구리 전극 가장자리에서 전류 밀도의 밀집으로 중심보다 방전이 활발하여 발생하였다. 가공 구멍의 지름은  $300 \pm 30 \mu\text{m}$ 이다.



그림 4. 제작한 구리 전극군 사진

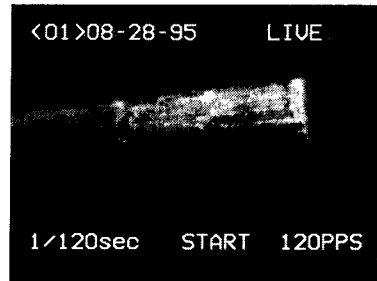


그림 5. 제작된 구리 전극의 사진.

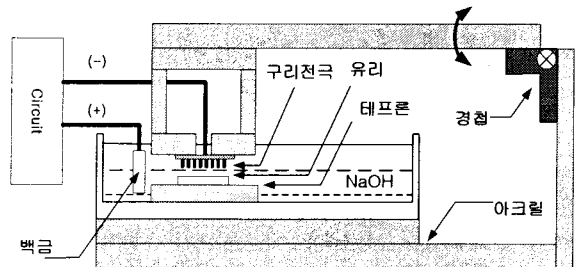


그림 6. 전기 화학 방전 가공 장치도.

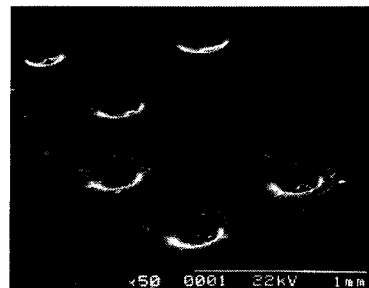


그림 7. 유리 가공 사진.

#### 5. 결론

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 이용하여 전기 화학 방전 가공용 구리 전극군을 제작하고 유리의 전기 화학 방전 가공 시험을 하였다.

구리 전극군은 ICP-RIE 공정과 골드 - 골드 열압착 본딩, 구리 전기 도금 등으로 제작된다. 제작된 구리 전극은 원기둥 형태로 지름은 100  $\mu\text{m}$ 이고 높이는 400  $\mu\text{m}$ 이며 전체 시편의 크기는 1.5 cm  $\times$  1.5 cm이다. 구리 전극군을 사용하여 전기 화학 방전 가공법으로 Borofloat33 유리의 가공을 시험하였다.

향후 시편의 크기를 증가시켜 다수의 구리 전극군이 배열된 구조를 설계 및 제작하여 유리 가공을 시험할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 자동차 부품 연구원과 삼성전기의 지원(미래형 자동차 기술개발사업, 산업자원부)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] O. C. Jeong, E. H. Yang, and S. S. Yang, "An experimental study on electrochemical discharge machining technique for micromachining of pyrex glass", *Trans. KIEE*, Vol. 45, No. 9, pp. 1374-1379, 1996.
- [2] 정귀상, 홍석우, "전기화학적 방전가공법에 의한 #7740 파이렉스 유리기판의 미세가공에 관한 연구", *전기전자재료학회논문지* Vol. 12, No. 6, pp. 486-496, June 1999.
- [3] C. T. Yang, S. S. Ho and B. H. Yan, "Micro Hole machining of Borosilicate glass through Electrochemical Discharge Machining(ECDM)", *Key Engineering Materials*, Vol. 196, pp. 149-166, 2001.
- [4] H. H. Kellogg, "Anode effect in aqueous electrolysis", *Journal of the electrochemical society*, Vol. 97, pp. 33-142, 1950.
- [5] I. Basak, and A. Ghosh, "Mechanism of material removal in electrochemical discharge machining: a theoretical model and experimental verification", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 71, pp. 350-359, 1997.
- [6] I. Basak, and A. Ghosh, "Mechanism of spark generation during electrochemical discharge machining: a theoretical model and experimental verification", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 62, pp. 46-53, 1996.
- [7] A. Kulkarni, R. Sharan, and G. K. Lal, "An experimental study of discharge mechanism in electrochemical discharge machining", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 42, pp. 1121-1127, 2002.
- [8] F. G. Tseng, and C. S. Yu, "High aspect ratio ultrathick micro-stencil by JSR THB-430N negative UV photoresist", *Sensors and Actuators A*, Vol. 97-98, pp. 764-770, 2002.