한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집 1997.

전기화학적 방전법에 의한 유리기판의 미세가공

Microdrilling of Glass Substrates by Electrochemical Discharge Machining

홍 석 우* 동서대학교 전자기계공학부
최 영 규 동서대학교 전자기계공학부
정 귀 상 동서대학교 전자기계공학부

Seog Woo Hong* Division of Electronics and Mechanical Engineering, Dongseo University
Young-Kyu Choi Division of Electronics and Mechanical Engineering, Dongseo University
Gwiy-Sang Chung Division of Electronics and Mechanical Engineering, Dongseo University

Abstract

Electro Discharge Machining (EDM) is a so-call non-conventional machining technique. This paper presents the experimental results of an EDM technique for the fabircation of microholes on #7440 pyrex glass. With various applied voltages and at various concentration of KOH solution, the glass substrate have been microdrilled using the copper eletrodes of which diameters are 250 ㎛ to 450 ㎛, respectively. The machined throughholes have been observed the top diameter, the bottom diameter, hollow width and hole diameter of the hole, and machining time have been measured. The experimental results show that the machining time decreases as the concentration of KOH solution increases or the applied voltage increase. Also, The top diameter increases as the concentration of KOH solution decreases or the applied voltage increases. The bottom and hollow width decreases as the of KOH solution increases or the applied voltage decreases.

1. 서 론

마이크로머시닝기술은 전극간격, 면적 그리고 멤브레인 두께 등 소자의 크기를 정확하게 제어할 수 있기 때문에 최근에 활발하게 연구개발 되고 있다. 소자의 집적화에 널리 사용되는 파이렉스 유리는 열팽창계수가 실리콘과 비슷하여 양극접합 후에도 접합 경계면 사이에 존재하는 잔류응력을 최대한 줄일 수 있어서 많은 분야에 응용되고 있다. 파이렉스 유리에 구멍을 뚫고 양극접합하여 마이크로 밸브의 유로가 제작된 바 있고 용량형 압력센서의 전극을 뽑을 때 사용되기도 한다.[1-2] 또한, 전기화학적 방전가공기술을 이용하여 유리-실리콘-유리 구조를 갖는 공진 검출용 센서가 제작되고 있다.[4] 마이크로머시닝기술로써 소자를 집적화 하기 위해 EDM(electrode discharge machining)가공에 대한 연구가 필요하다. 방전가공에는 전기 방전가공법과 전기화학적 방전가공법이 있다. 전기 방전가공법은 가공 전극과 가공물간의 거리를 일정하게 유지하여 균일한 방전 에너지를 가공물에 공급할 수 있고 가공물이 도체나 부도체 상관없이 가공할 수 있다. 전기화학적 방전가공방법에는 전기화학적 방전에 의한 드릴링과 밀링, 그린딩이 있다.[6] 그 중에서 전기화학적 방전에 의한 드릴링방법은 수용액 속에서 음전극과 가공물을 접촉시키고 AC 전압을 인가할 때 음전극으로부터 수용액의 양이온으로 전자가 방출되면서 국부적으로 활성화된 수용액의 화학적 반응으로 유리를 미세가공하는 방법이다. 전기화학적 방전가공법은 전기 방전가공법에 비해 미세가공에 유리하고 수십볼트의 저전압에서도 충분히 가공할 수 있으나, 도체인 경우에는 가공이 불가능하다.

본 연구에서는 전기화학적 방전가공법 중에서 드릴링방법으로 파일렉스 유리를 미세가공하기위

하여 인가전압, 수용액 농도, 전극 크기의 변화에 따른 구멍의 상·하부직경, 가공시간, 표면상태를 측정분석하여 최적의 유리기판 미세가공기술을 확립하였다.

2. 실험방법

그림 1는 전기화학적 방전에 의한 유리기판을 가공하기 위한 구성도를 개략적으로 나타내었다

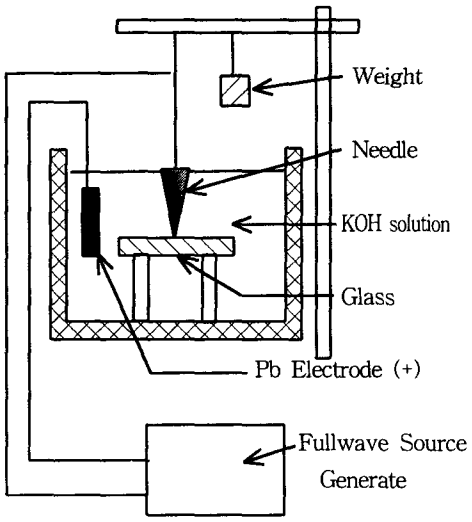


그림 1. 전기화학적 방전에 의한 유리기판의 미세 가공 장치도.

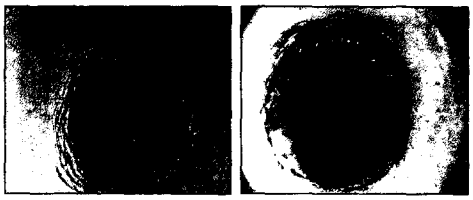
전압원은 AC 0 V~70 V까지 충분히 변화할 수 있어야 하고 인가전압은 전압의 진폭을 의미한다. 수용액속의 두 전극은 음전극으로는 납을 양전극으로는 구리를 사용하였다. 두 전극은 전기음성도차가 클수록 적당하고 음전극은 직경이 250 ㎛ 정도의 원통형 구리 Needle을 사용하였다. 또한, 음전극의 수용액에 노출되는 표면적에 따라서 전하의 집중도가 달라지므로 1 ㎜ 정도로 테프론 테이프를 감아서 사용하였다. 가공물은 1 ㎜ 두께의 글라스와 580±5 ㎛ 두께의 파이렉스 유리(#7740)를 각각 사용했으며 가공시 방전의 에너지에 의해 미끄러지지 않게 하기위해 일정한 하중을 인가한 상태에서 가공하였다. 인가전압이란 전압원의 전압 진폭을 의미하고, 가공시 0 V에서 서서히 인가전압을 높여주면 수용액 내부에서 음전하의 흐름에 의해 기전력이 발생하고 전기분해 현상이 생긴다. 인가전압이 기전력보다 크게 되면 음전하의 흐르는 방향이 바뀌는 현상인 전기분해 현상이 방전 현상으로 바뀐다.

음전극의 선택은 전극직경은 250 ㎛ 크기의 원통형 구리 Needle을 사용하였다. 수용액의 농도는 20~35 wt% 범위 5 wt% 단계 그리고 인가전압은 25~45 V 범위에서 5 V씩 증가시켰다.

인가전압, 수용액 농도, 전극의 직경 등의 조건에 따른 가공시간, 구멍의 상태 및 크기를 각각 측정분석 했다. 이때 가공시간 측정은 인가전압을 주면서부터 가공물이 완전히 가공되기까지 시간이다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 전극직경이 250 ㎛ 크기, 수용액 농도 30 wt%, 인가전압 35 V, 접촉하중 30 g의 조건하에서 전기화학적 방전으로 가공된 유리기판의 상부와 하부 표면사진이다. 상부직경은 수용액에 장시간 노출되어 넓고 아래로 가공되어 갈수록 좁아진 형태이다. 하부표면에서 Hollow width가 형성되어 상부에서 부터 좁아진 구멍이 다시 커짐을 알 수 있다.



(a) 상부표면 (b) 하부표면

그림 2. 30 wt% KOH 수용액에 35 V 인가전압일 때 가공된 유리기판의 상부와 하부 표면사진.

그림 3은 관찰된 단면을 단순화한 그림이다. 여기서, H는 유리두께, D_T는 상부직경, D_B는 하부직경, D_H를 구멍직경, D_T와 D_B의 차를 Hollow width로 정의한다. Hollow width는 유리두께에 비해 매우 작은 값으로 가공경사각 α을 구할 때 고려하지 않았다. α는 다음과 같이 정의한다.

$$\alpha = \frac{D_T - D_B}{H}$$

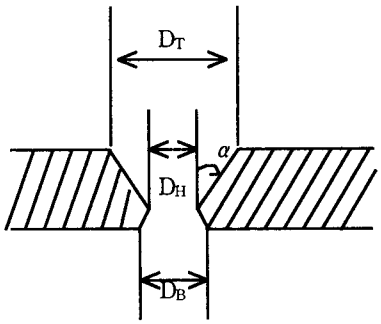


그림 3. 가공된 구멍의 개략도.

그림 4는 인가전압 50 V일 때 두께 1 ㎜인 일반유리에 각 수용액 농도에서 전극크기 450~250 ㎛에 대한 가공시간을 나타낸 것이다. 전극이 작을 수록 가공시간이 감소함을 알수 있다. 전극의 크기는 250 ㎛보다 작게되면 가공시 부식성에 의해 형태가 변형되어 가공은 불가능하였다.

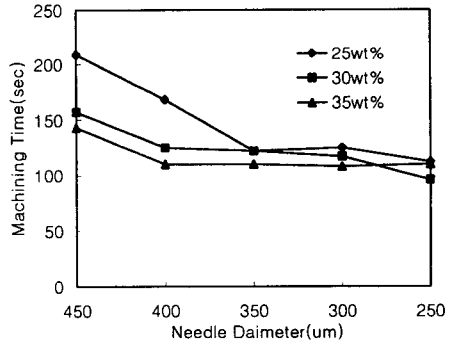
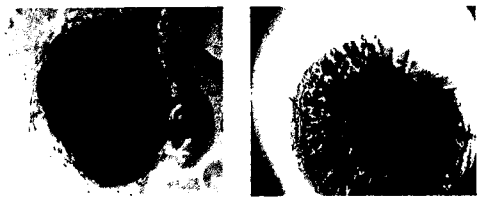


그림 4. 전극의 크기에 따른 가공시간의 변화.

그림 5는 접촉하중이 없을 때와 접촉하중이 70 g일때의 표면상태이다. 접촉하중이 충분하지 못하면 방전에너지에 의해 전극의 미끄러지는 현상과 접촉하중이 과하게 인가되면 쪼개어지는 현상 때문에 바람직한 형상을 얻을 수 없다.



(a)접촉하중이 없을 때 (b)접촉하중 70 g 일 때
그림 5. 접촉하중에 따른 유리기판의 표면상태사진.

그림 6, 7은 인가전압 및 KOH 수용액 농도변화에 따른 상부직경 및 구멍직경을 나타낸 것이다. KOH 수용액을 각각 20, 25, 30, 35 wt% 일 때 인가전압에 따른 상부직경을 측정하였다. 상부직경과 구멍직경은 인가전압을 높일수록 KOH 수용 액의 농도가 낮을수록 커지는 경향을 보였다.

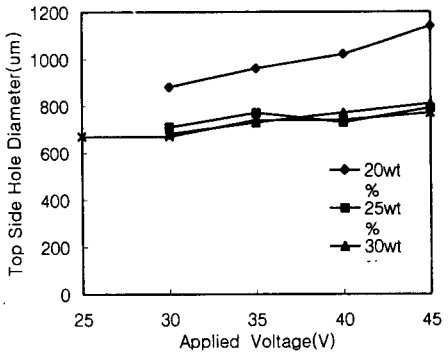


그림 6. 인가전압 및 KOH 수용액 농도에 따른 상부직경.

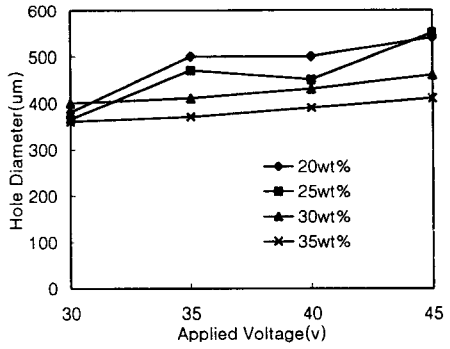


그림 7. 인가전압 및 KOH수용액 농도에 따른 구멍직경.

그림 8은 상부직경과 같은 실험 조건하에 측정한 결과이다. 하부직경은 인가전압을 높일수록 KOH 수용액 농도를 높일수록 커지는 경향을 보이나 KOH 수용액 농도는 그다지 크게 작용하지 않는다.

그림 9는 인가전압 및 수용액 농도에 따라 유리기판을 가공하는데 필요한 시간을 나타낸 것이다. 가공시간은 인가전압이 높을수록 수용액의 농도가 클수록 가중되는 방전에너지 및 수용액의 용량이 커져서 가공시간이 줄어든다. 인가전압이 25 V에서 30 V 사이의 변화가 가공시간을 크게

줄였고 수용액 농도가 25 wt% 보다 농도가 높을 때는 큰변화가 없었다.

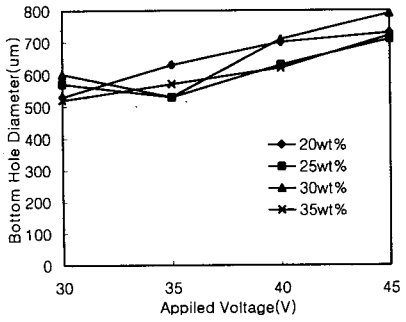


그림 8. 인가전압 및 수용액 농도변화에 따른 하부직경.

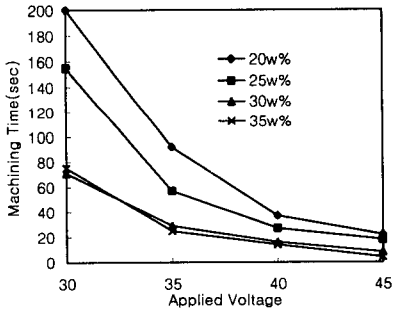


그림 9. 인가전압 및 수용액 농도변화에 따른 가공시간의 변화.

4. 결 론

본 논문에서는 KOH 수용액에서 전기화학적 방전가공법중 드릴링 방법으로 파일렉스 유리를 미세가공할 때 인가전압, 전극의 직경크기, 수용액 농도의 변화에 따른 가공물의 상·하부 직경과 구멍직경, 가공시간, 표면상태 등을 분석·평가해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

① 가공물과 Needle사이의 접촉하중에 따라 상부표면상태가 부적당한 상태가 생길 수 있다. 따라서, 20~30 g정도의 접촉하중에서 가공시 적당한 표면상태를 얻을 수 있었다.

② 전극의 직경이 작을수록 가공시간 및 구멍직경을 줄일 수 있었고 직경이 250 ㎛ 보다 작으면 가공시 적절한 실험을 할 수 없었다.

③ 상부 및 구멍직경은, 높은 인가전압과 KOH 수용액 농도를 줄일수록 커지는 경향이 있고, 하부직경은 높은 인가전압과 KOH 수용액 농도를 높일수록 커지는 경향이 있다.

④ 가공시간은 높은 인가전압, 높은 KOH 수용액 농도, 전극직경을 작게하므로 줄일 수 있다.

따라서, 전기화학적 방전가공은 개선된 수용액, 전극재료 및 전극형상을 얻게되면 보다나은 최적조건에서 유리기판의 미세가공이 가능할 것이며 마이크로머시닝기술에 의한 마이크로 센서 및 액츄에이터 개발에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

5. 참고문헌

[1] M. Esashi, S. Shoji, and A. Nakano, Proc. IEEE MEMS Workshop, 29-34 (1989).

[2] S. S. Yang, E. H. Yang, S. Y. Kim, J. D. Seo, S. H. Han, ASME Winter Annul Meeting, 55-2, 733-740 (1994).

[3] G. Stemme, Proc. IEEE MHS'95, 45-52 (1995).

[4] M. Esashi, Y. Matsumoto, and S. Shoji, Sensors & Actuauots, A21-A23, 1048-1052 (1990).

[5] Shuichi Shoji, Masayoshi Esashi, Tech. Dig. of the 9th Sensor Sympo., A1, 4, 27-30 (1990).

[6] Dominiek Reynaerts, Paul-Henric's Heeren, Hendrik Van Brussel, Sensors & Actuators, A 60, 212-218 (1997).

[7] T. Masaki, K. Kawata, and T. Masuzawa, Proc. IEEE MEMS Workshop, 21-26 (1990).

[8] Ok-Chan Jeong, Eui-Hyeok Yang, Sang-Sik Yang, Trans. KIEE, 45, 9, 1374-1379 (1996).