

< 본 문 >

## 초미세 금속 박판의 마이크로 채널 포밍

주병윤\* · 백승욱† · 오수익\*

(2005년 7월 28일 접수, 2006년 1월 12일 심사완료)

### Micro Channel Forming with Ultra Thin Metal Foil

Byung Yun Joo, Seung Wook Baek and Soo Ik Oh

**Key Words :** Micro Forming(마이크로 포밍), Metal Foil(금속 박판), Micro Channel(마이크로 채널)

#### Abstract

Our research dealt with micro fabrication using micro forming process. The goal of the research was to establish the limit of forming process concerning the size of forming material and formed shape. Flat-rolled ultra thin metallic foils of pure copper(3.0 and 1.0  $\mu\text{m}$  in thickness)and stainless steel(2.5  $\mu\text{m}$  in thickness) were used for forming material. We obtained the various shapes of micro channels as using designed forming process. 12~14  $\mu\text{m}$  wide and 9  $\mu\text{m}$  deep channels were made on 3.0  $\mu\text{m}$  thick foil and 6  $\mu\text{m}$  wide and 3  $\mu\text{m}$  deep channels were made on 1.0  $\mu\text{m}$  thick foil. Si wafer die for forming was fabricated by using etching technique. And the relation of etching time and die dimension was investigated for fabricating precisely die groove. For the forming, die and metal foil were vacuum packed and the forming was conducted with a cold isostatic press. The formed channels were examined in terms of their dimension, surface qualities and potential for defects. Base on the examinations, formability of ultra thin metallic foil was also discussed. Finally, we compared the forming result with simulation. The result of research showed that metal forming technology is promising to produce micro parts.

#### 1. 서 론

Metal forming 기술은 공정을 단순화시킬 수 있는 장점과 대량 생산에 이점이 매우 크므로 금속 가공 기술에 있어 매우 중요하다고 할 수 있다. 이번 연구에서는 metal forming 기술이 마이크로 스케일에서 어느 정도까지 적용 가능한지를 알아보기 위해 마이크로 스케일에서의 포밍 공정을 설계하고 실제 포밍을 통해 성형성을 분석했다. 최근 연구<sup>(1)</sup>에서는 수 밀리미터에서 수십 마이크로미터 크기의 여러 성형 공정이 소개되고 있다. 또한 마이크로 익스트루전,<sup>(2)</sup> 마이크로 엠보싱,<sup>(2,3)</sup> 마이크로 편칭<sup>(4,5)</sup> 등의 공정 또한 연구되고 있다. Liu et

al. 그룹<sup>(6)</sup>은 최근 20~40  $\mu\text{m}$  두께의 알루미늄 포일 포밍에 대한 연구를 보고했다. 최근 각광 받고 있는 소프트 리소그래피 기술의 하나인 나노 임프린트 기술 역시 포밍 기술을 근간으로 하고 있다. 하지만 임프린트 기술은 그 재료가 고분자에 국한되어 있어 금속 소재에 적용하기에는 한계가 있다. 이러한 난제를 극복하기 위한 방안으로 본 연구에서 초미세 금속 박판의 포밍을 위한 공정이 설계된 것이며 포밍 가능한 최소 성형 크기의 한계에 접근하려 했다. 본 연구팀에서 설계한 공정으로 1~3  $\mu\text{m}$  두께의 금속 박판에 6~14  $\mu\text{m}$ 의 폭을 가지는 다양한 형상의 채널을 성형하는데 성공하였다. 사용되는 금속 박판은 압연(flat-rolled) 공정에 의해 제작된 구리, AISI 304 스테인리스 스틸이다. 성형을 위한 다이는 에칭 방법을 사용하여 Si 웨이퍼에 제작하였다. 성형은 cold isostatic pressing 에 의해 이루어졌다. 이번 연구를 통해 마이크로 스케일의 부품을 마이크로 포밍 공정을 이용하여 보다 쉽게 제작할 수 있는 가능성을 보였다.

† 책임저자, 회원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : baeksw@paran.com

TEL : (02)880-7146 FAX : (02)872-0235

\* 서울대학교 기계항공공학부

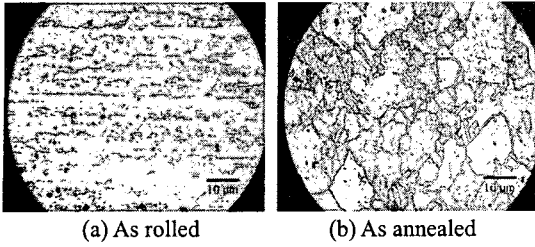


Fig. 1 In-plane grain structure of 3.0  $\mu\text{m}$  thick annealed copper foil

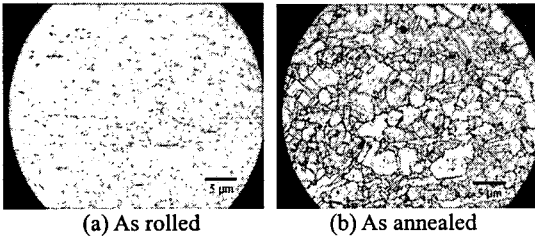


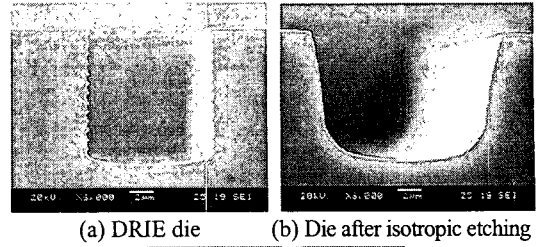
Fig. 2 In-plane grain structure of 1.0  $\mu\text{m}$  thick annealed copper foil

## 2. 마이크로 포밍 공정 설계

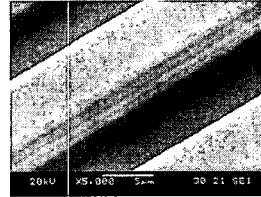
### 2.1 성형 소재

성형을 위해 사용된 금속 박판은 1  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$  구리와 2.5  $\mu\text{m}$  AISI 304 스테인리스 스틸을 사용했다. 금속 박판은 압연 (flat-rolled)에 의해 제작되었으며 두께의 공차는 3  $\mu\text{m}$  두께의 구리와 AISI304 박판에 대해서는  $\pm 0.3 \mu\text{m}$  이내, 1  $\mu\text{m}$  두께의 구리 박판에 대해서는  $\pm 0.1 \mu\text{m}$  이내이다. 구리 박판에 대한 인장 강도는 394MPa 이며 AISI304 에 대한 인장 강도는 정확하게 주어지지 않았으나 두께 5  $\mu\text{m}$  의 압연 AISI304 스테인리스 스틸의 경우 1.5GPa 근처인 것으로 알려져 있다.

이번 연구에서는 재료의 연성을 향상시키기 위해 열처리를 수행하였다. Fig. 1 과 Fig. 2 는 열처리 전후의 금속의 결정 조직 (grain structure)을 보여주고 있다. 구리 박판에 대해서 385 $^{\circ}\text{C}$ 에서 다양한 시간 동안 열처리를 수행했다. 열처리 시간의 증가는 재료의 연성의 변화와 함께 결정의 성장과도 관계가 된다. 결정이 너무 크게 성장하면 소재의 성형에 나쁜 영향을 끼칠 수 있으므로 적절한 열처리 시간을 선택하는 것은 중요하다. 실험 결과 두께 3  $\mu\text{m}$  구리 박판의 경우는 1분, 두께 1  $\mu\text{m}$  구리 박판의 경우는 20분이 적당했다. 두께 2.5  $\mu\text{m}$  의 AISI 304 스테인리스의 경우는 850 $^{\circ}\text{C}$ 에서 30분 동안 열처리를 수행했다. 결정의 크기는 약 2~3  $\mu\text{m}$  정도였으며 비교적 균일한 결정 조직을 지니고 있음을 확인했다.



(a) DRIE die (b) Die after isotropic etching



(c) Isotropically etched straight die grooves of 12  $\mu\text{m}$  wide

Fig. 3 Silicon wafer die for forming of 3  $\mu\text{m}$  thick foil

어닐링된 박판의 기계적 물성치를 측정하기 위해 나노 인텐터를 이용하여 경도 테스트를 수행했다. 인텐테이션 깊이는 150nm 였으며 하중은 구리의 경우 1000 $\mu\text{N}$ , AISI304 의 경우 1600 $\mu\text{N}$  의 하중을 가했다. 측정된 경도는 구리와 스테인리스 각각 1.1GPa, 3.5GPa 이었다.

### 2.2 마이크로 포밍을 위한 다이 제작

성형을 위한 다이는 4 인치 [100]-oriented single crystal n-type Si 웨이퍼를 사용했다. 120 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10분 동안 SPM 클리닝 ( $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2 = 4:1$ )을 한 후 60초간 수 차례 세척을 실시하며 계속해서 불산 수용액 ( $\text{HF}:\text{H}_2\text{O} = 1:10$ )에 10초간 클리닝을 실시한다. 다음으로 AZ1512 를 사용하여 포토레지스트 (Photo resist)를 1.2  $\mu\text{m}$  두께로 스핀 코팅한 후 95 $^{\circ}\text{C}$ 에서 90초간 소프트 베이크를 실시한다. 67.5mJ/cm $^2$ 의 세기로 7초간 UV exposure 후 AZ300 MIF solution 에서 development 를 수행한다. 세척이 끝나면 110 $^{\circ}\text{C}$ 에서 90초간 하드 베이크를 실시한다. 다이를 제작하기 위한 기본적인 공정이 끝난 후 그루브 형상을 다이에 제작하기 위해 DRIE (deep reactive ion etching)을 이용한다. DRIE 는 포토레지스트에 대한 etch rate 보다 single crystal silicon 에 대한 etch rate 이 30 배 정도 빠르므로 안정적으로 3  $\mu\text{m}$ , 9  $\mu\text{m}$  깊이의 그루브를 만들 수 있다. 하지만 DRIE 에 의해 만들어진 그루브는 모서리가 매우 날카롭고 그루브내 벽면에 리플 (ripple)들이 많이 붙어 있어 박판 성형을 위해 적합하지가 않다. 이를 해결하기 위해 DRIE 공정 후 다른 후처리가 필요했다. 우선 DRIE 후 포토레지스트 (PR)를 제거하기 위해  $\text{O}_2$  플라즈마를 이용한 PR ashing 을 수행하고 piranha

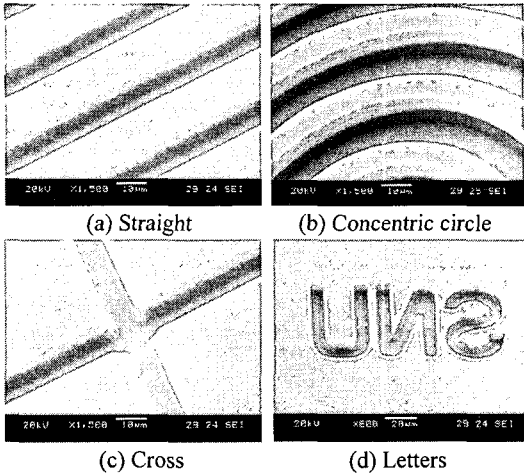


Fig. 4 Various shapes of silicon wafer die for forming of 3  $\mu\text{m}$  thick foil

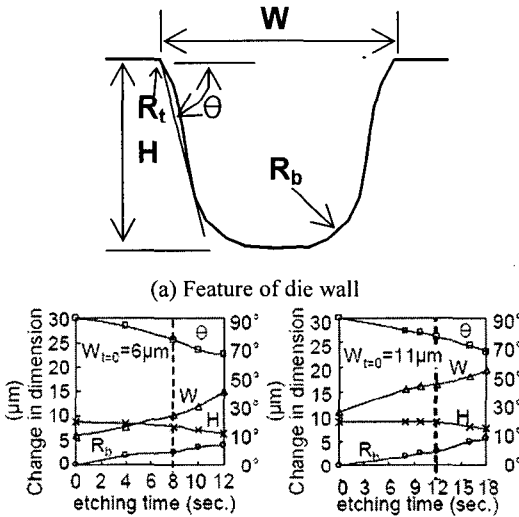


Fig. 5 Die dimension changes after isotropic etching

용액으로 PR strip 공정을 진행한 후 불산 용액으로 클리닝을 수행한다. 세척 후 웨이퍼를 12×12mm의 크기로 자르며 마지막으로 그루브 내부 벽면에 생긴 ripple을 제거하기 위해 HNA (HF:HNO<sub>3</sub>:CH<sub>3</sub>COOH=3:5:3)를 사용하여 isotropic etching을 하게 된다.

Fig. 3은 DRIE 공정 후의 그루브 형상과 isotropic etching 이후의 그루브 형상을 비교한 것이다. 리플이 어느 정도 제거되고 그루브 형상이 전체적으로 매끄러워진 모습을 보이고 있다. 이러한 그루브의 형상은 포밍시 성형성을 향상시키는 결과를 가져올 것이다.

Table 1 Dimensions of silicon wafer dies for forming of 3.0  $\mu\text{m}$  thick foil

|   | D <sub>Si,iso</sub> -w12d9                    | D <sub>Si,iso</sub> -w14d9                     |
|---|---|--|
| Die material                                    | Single crystal silicon ([100]-orientation)    | Single crystal silicon ([100]-orientation)     |
| Initial geometry                                | 8 $\mu\text{m}$ wide and 9 $\mu\text{m}$ deep | 10 $\mu\text{m}$ wide and 9 $\mu\text{m}$ deep |
| Die width, W( $\mu\text{m}$ )                   | 12  | 14   |
| Die depth, H( $\mu\text{m}$ )                   | 9   | 9  |
| Wall angle, $\theta(^{\circ})$                  | 77  | 77   |
| Fillet radius, R <sub>b</sub> ( $\mu\text{m}$ ) | 3   | 3  |

Table 2 Dimensions of silicon wafer die for forming of 1.0  $\mu\text{m}$  thick foil

|   | D <sub>Si,iso</sub> -w6d3                     |
|---|---|
| Die material                                    | Single crystal silicon ([100]-orientation)    |
| Initial geometry                                | 3 $\mu\text{m}$ wide and 4 $\mu\text{m}$ deep |
| Die width, W( $\mu\text{m}$ )                   | 5.6   |
| Die depth, H( $\mu\text{m}$ )                   | 3.2   |
| Wall angle, $\theta(^{\circ})$                  | 77  |
| Fillet radius, R <sub>b</sub> ( $\mu\text{m}$ ) | 1.5   |

Fig. 4는 다이에 성형된 다양한 그루브의 형상을 보여주고 있다. Fig. 5는 다이 그루브의 치수 변화와 관련된 적절한 에칭 시간을 도출한 결과를 보여주고 있다.

Table 1과 Table 2는 isotropic 에칭 이후에 그루브의 폭과 깊이에 따른 웨이퍼 다이의 치수를 나타내고 있다. D<sub>Si,iso</sub>-w12d9은 채널 폭 12  $\mu\text{m}$ 에 깊이 9  $\mu\text{m}$ 인 isotropic etching에 의해 가공된 다이를 말하며 D<sub>Si,iso</sub>-w14d9은 채널 폭 14  $\mu\text{m}$ 에 깊이 9  $\mu\text{m}$ 인 isotropic etching에 의해 가공된 다이, D<sub>Si,iso</sub>-w6d3은 채널 폭 6  $\mu\text{m}$ 에 깊이 3  $\mu\text{m}$ 인 isotropic etching에 의해 가공된 다이를 의미한다.

2.3 마이크로 포밍 공정

성형은 CIP(Cold Isostatic Press) 장비를 이용하여 정수압을 가해 원하는 형상을 얻었다. 방수 처리된 80  $\mu\text{m}$ 두께의 폴리머 bag을 사용하여 진공 포장을 한 후 성형을 하게 된다. 이때 폴리머 bag 자체

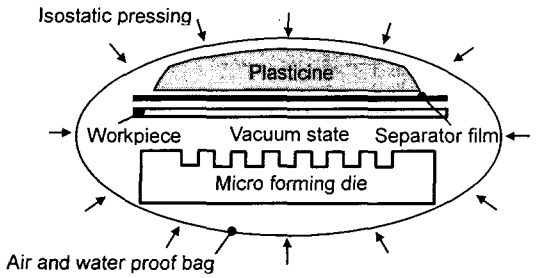


Fig. 6 Schematic diagram of micro channel forming process

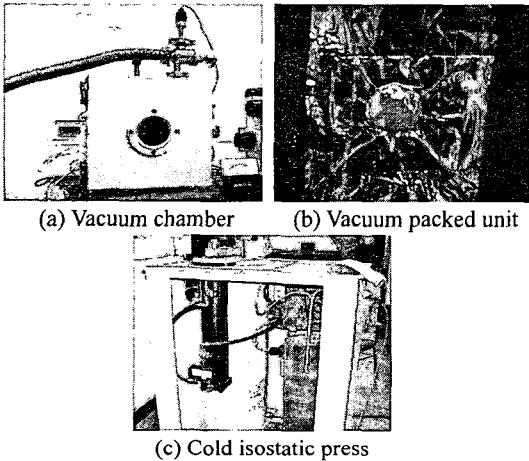


Fig. 7 Equipments for forming process

는 stiffness 가 매우 크고 두꺼워 유체의 압력을 금속 박판으로 균일하게 전달하기 힘들다. 이것을 해결하기 위해 Fig. 6 에서 보다시피 압력 전달 매체로 plasticine 을 사용하였다. 박판과 plasticine 사이에는 separator 필름으로 900nm 두께의 폴리에스터 필름을 사용하였다. 폴리에스터 필름은 165%의 최대 연신율을 지니며 포밍 공정 후 다소 sticky 한 plasticine 으로부터 박판을 쉽게 분리할 수 있게 해준다. 또한 매끄러운 표면과 쉽게 늘어나는 성질 때문에 박판이 다이에 conformal 하게 성형되는데 도움을 준다. Die-workpiece-seperator-plasticine 으로 구성된 포밍 스택은 방수처리 된 bag 에 들어가게 되며 hydrostatic pressure 를 가하기 위해 0.05Torr, 180℃의 진공 챔버 내에서 진공 포장 과정을 거치게 된다. 이렇게 포장된 bag 은 250MPa 의 hydrostatic pressure 에 의해 가압 성형 공정을 거친다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 두께 3 μm의 구리 박판 성형

Fig. 8 은 die contact side 에서 성형된 박판의 모

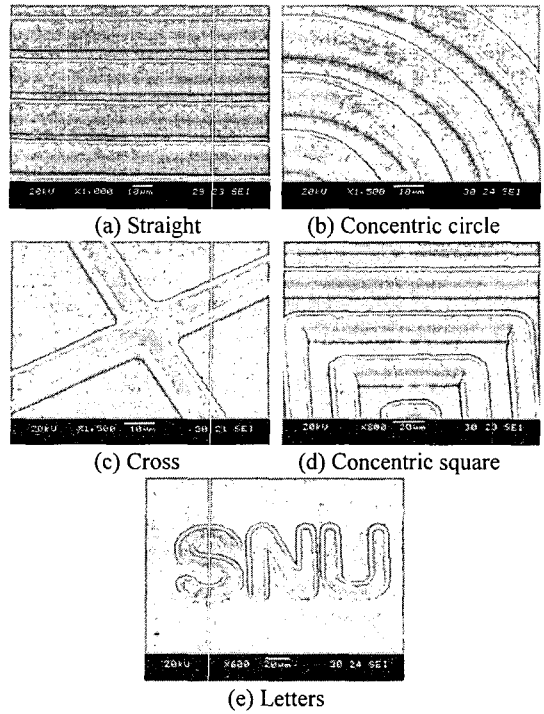


Fig. 8 Micro channels made on copper foil of 3.0 μm in thickness(viewed at the die contacted side of foil)

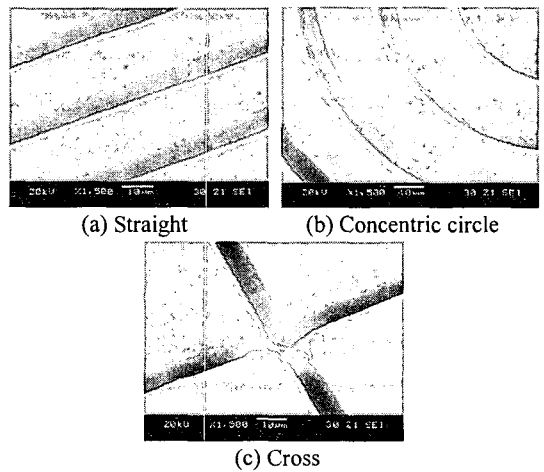


Fig. 9 Micro channels made on copper foil of 3.0 μm in thickness(viewed at the plasticine contacted side of foil)

습이다. 240MPa 의 정수압 하에서 3 μm의 구리 박판은 straight, concentric circle, concentric square, cross, letter 등의 다양한 형상으로 완벽하게 성형되는 것을 확인할 수 있다. 성형된 박판의 높이는 다이 그루브의 높이인 9 μm로 정확히 일치했으며 3 μm 두께의 구리 박판의 성형을 위한 최소 압력은 160MPa 이었다. 또한 추가적인 실험을 통해 포밍

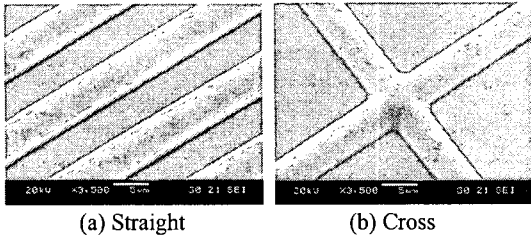


Fig. 10 Micro channels made on copper foil of 1.0  $\mu\text{m}$  in thickness(viewed at the die contacted side of foil)

압력을 80MPa, 160MPa 로 했을 때 성형 높이는 각각 2  $\mu\text{m}$ , 7.5  $\mu\text{m}$ 임을 확인했다. 전체적으로 굴곡 없는 평평한 성형 상태를 보이는 것으로부터 plasticine 과 flat rigid 한 다이에 의해 압력이 균일하게 완전히 전달됨을 알 수 있다. 표면 거칠기의 경우 20~80nm 정도가 됨을 non-contact surface profiler(SIS-1200, SNU precision corp.)를 이용하여 측정하였다. Fig. 9 는 3  $\mu\text{m}$  두께의 구리 박판의 plasticine contact side 에서의 모습을 보여준다. plasticine contact side 의 성형면은 die contact side 의 성형면에 비해 100nm 정도의 다소 거친 모습을 보인다. 성형 후 보이는 line trace 는 박판 제작시 초기 압연 공정 중에 생긴 것으로 판단된다.

3.2 두께 1  $\mu\text{m}$ 의 구리 박판 성형

Fig. 10 은 1  $\mu\text{m}$  두께의 구리 박판을 깊이 3  $\mu\text{m}$ 의 다이에서 성형한 결과를 보여준다. 성형 압력은 240MPa 이었으며 성형 후 최대 성형 높이는 다이 그루브의 깊이를 그대로 유지하고 있다. 여러 형상에 대해 채널들이 완전히 성형된 모습을 보이고 있다. 표면의 거칠기는 20~50nm 정도를 유지했다.

3.3 두께 2.5  $\mu\text{m}$ 의 AISI304 박판 성형

Fig. 11 은 2.5  $\mu\text{m}$  두께의 AISI304 스테인리스 스틸 박판의 die contact side 의 성형 후 모습을 보여주고 있다. 스테인리스 스틸의 경우 9  $\mu\text{m}$ 의 다이 그루브 깊이를 그대로 따라가지 못하고 그보다 낮은 성형 높이를 형성했다. 그루브의 폭이 12  $\mu\text{m}$ , 14  $\mu\text{m}$ 일 때 성형 높이는 각각 2.3  $\mu\text{m}$ , 3.5  $\mu\text{m}$  였다, 이것은 스테인리스 스틸에 대해 240MPa 의 성형 압력이 충분하지 않았기 때문이다. 실제 그루브 폭을 12  $\mu\text{m}$ , 깊이를 9  $\mu\text{m}$ 로 하고 380MPa 의 압력을 가했을 때 성형 높이는 4  $\mu\text{m}$  였다. 같은 그루브로 160MPa 압력일 때는 성형 높이가 0.3  $\mu\text{m}$ 였으며 80 MPa 의 압력을 가했을 때는 어떠한 변형도 일어나지 않았다. 성형 후 표면 거칠기는 die contact side 의 경우 100nm 정도였으며, plasticine contact side 의 경우 200nm 정도였다. copper 에 비해 거칠기가 더 큰 것은 상대적으로 스테인리스 스틸

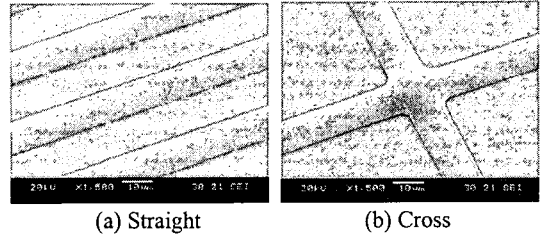
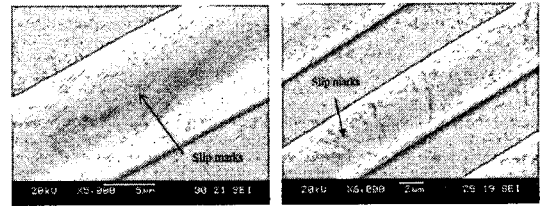
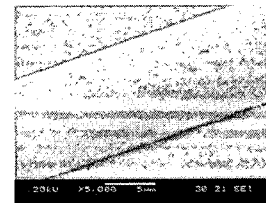


Fig. 11 Micro channels made on AISI304 foil of 2.5  $\mu\text{m}$  in thickness(viewed at the die contacted side of foil)



(a) Copper foil of 3  $\mu\text{m}$  (b) Copper foil of 1  $\mu\text{m}$



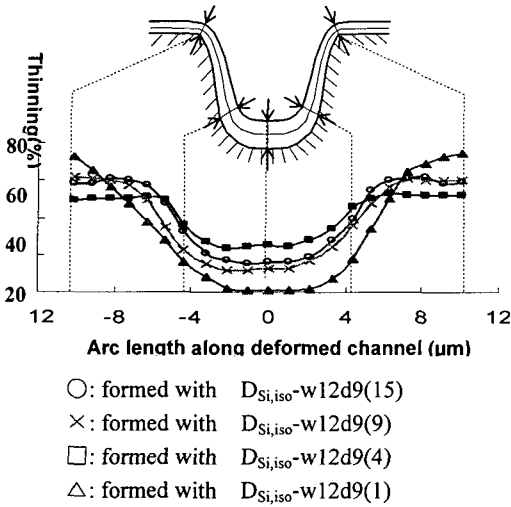
(c) AISI 304 foil of 2.5  $\mu\text{m}$

Fig. 12 Enlarged views of straight channels(viewed at the die contacted side of foil)

의 결정 조직이 더 크기 때문이다. Fig. 12 는 성형된 각 박판의 채널을 확대하여 찍은 사진이다. 사진을 통해 조직을 관찰 할 수 있으며 Fig. 12(a) 와 (b)는 성형 압력이 충분히 전달되어 표면이 매우 평평하고 우수하게 성형이 되었음을 알 수 있다. 사진에 표시된 slip mark 는 성형시 stretching deformation 에 의해 유발된 것으로 보인다. 성형된 채널의 옆 벽면에 채널 방향으로 생긴 line mark 는 다이 제작 공정 중 다이 벽면의 미세한 리플에 의해 생긴 것이다.

3.4 박판의 성형성 분석

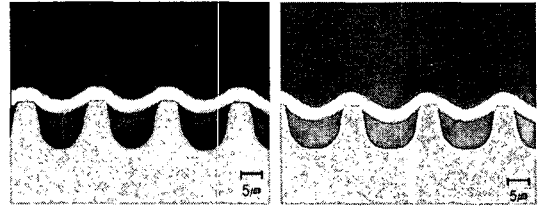
Fig. 13 은 single channel 에 대한 성형시 박판 두께의 strain 분포를 보여주고 있다. Thining 이 다이 코너부에서 가장 크게 일어나며 채널 바닥 부분으로 갈수록 적게 일어난다. 따라서 가능하면 전체적으로 균일한 thinning 분포를 얻을 수 있도록 하여야 하며, 이에 대한 연구는 다이 코너부의 라운드(round)개선과 함께 다이 표면을 더 부드럽게 변화시키는데 초점을 맞추어 진행되어야 할 것이다.



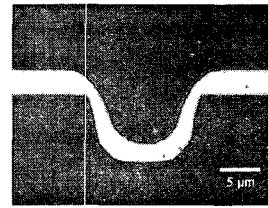
○: formed with  $D_{Si,iso-w12d9}(15)$   
 ×: formed with  $D_{Si,iso-w12d9}(9)$   
 □: formed with  $D_{Si,iso-w12d9}(4)$   
 △: formed with  $D_{Si,iso-w12d9}(1)$   
 denote: ()의 숫자는 inter channel width를 의미한다.  
**Fig. 13** Thickness strain distributions of straight channels made on copper foil of  $3.0 \mu\text{m}$  in thickness

Fig. 14는 AISI304 스테인리스 스틸 박판의 성형시 단면을 보여주는 사진이다. 앞서 기술한 바와 같이 스테인리스의 성형 깊이는 다이 그루브의 깊이인  $9 \mu\text{m}$ 를 따라가지 못하고 약  $3 \mu\text{m}$ 의 깊이로 성형이 되는 것을 볼 수 있다. 이런 현상은 스테인리스 스틸이 구리만큼 연성이 좋지 못하기 때문에 발생하며 더 큰 성형 압력을 가한다면 성형성은 높일 수 있을 것이다.

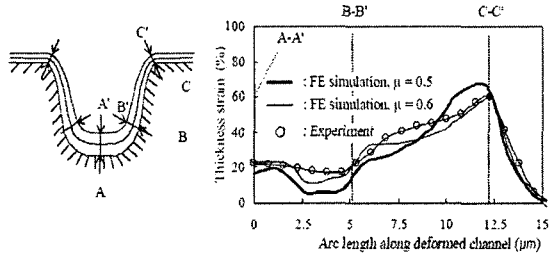
Fig. 15, Fig. 16은 두께  $3 \mu\text{m}$  구리 박판과 두께  $1 \mu\text{m}$  구리 박판의 성형시 straight 채널의 단면과 함께 두께 방향으로의 strain 분포를 시뮬레이션을 통한 결과값과 실제 실험을 통한 결과값을 비교하여 보여주고 있다. 채널 포밍을 위한 시뮬레이션을 위해 rigid plastic finite element program인 DEFORM 2D를 사용하였다. Plane strain으로 가정하였으며 half model이 사용되었다. 소재로 순수한 구리가 사용되었으며 flow curve는  $\sigma = 532\epsilon^{0.404}$  (MPa)가 사용되었다. 어닐링 된 구리 박판의 두께는  $3 \mu\text{m}$ 와  $1 \mu\text{m}$ 로 하였으며 박판의 표면에  $240\text{MPa}$ 의 압력이 가해지는 것으로 조건을 주었다. 표면의 쿨롱 마찰 상수  $\mu = 0.5$ 와  $\mu = 0.6$ 에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 17은 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 시뮬레이션에 의한 두께 방향으로의 strain 분포는 실제 실험에 의한 분포와 크게 다르지 않았으며 비슷한 양상을 보이는 것을 확인할 수 있다. Fig. 18에서와 같이 성형 중 일부분에서 눌러서 움푹 들어간 부분과 찢어진 부분



**Fig. 14** Merged images of sectioned channels made on AISI304 foil of  $2.5 \mu\text{m}$  in thickness and die grooves

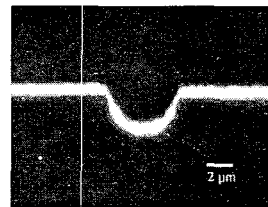


(a) Section of straight channel

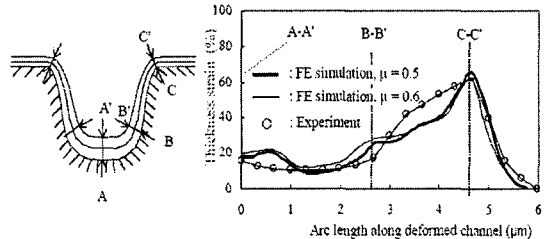


(b) Thickness strain of deformed channel

**Fig. 15** Comparison of thickness strain distributions of straight channel made on copper foil of  $3.0 \mu\text{m}$  in thickness with simulation results.

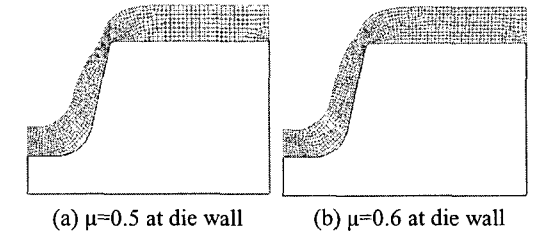


(a) Section of straight channel

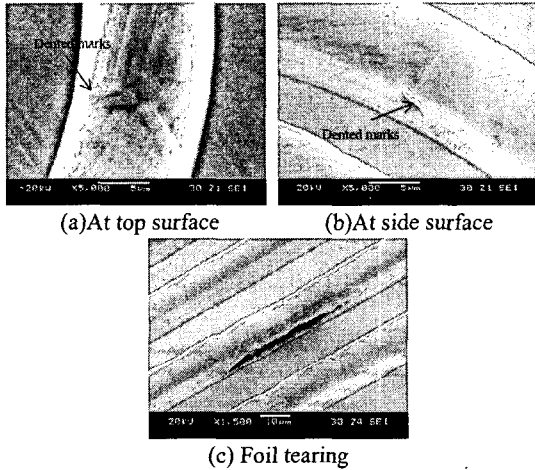


(b) Thickness strain of deformed channel

**Fig. 16** Comparison of thickness strain distributions of straight channel made on copper foil of  $1.0 \mu\text{m}$  in thickness with simulation results



(a)  $\mu=0.5$  at die wall (b)  $\mu=0.6$  at die wall  
**Fig. 17** Simulation results: forming of straight channels made on copper foil of  $3.0\ \mu\text{m}$  in thickness



(a) At top surface (b) At side surface  
 (c) Foil tearing  
**Fig. 18** Defects found on channel surface

의 표면 결함을 발견할 수 있다. 움푹 들어간 dented mark 는 다이 그루브를 isotropic etching 에 의해 제작할 때 다이 표면에 생긴 결함이 그대로 박판에 전사된 것으로 생각된다. 다음으로 박판의 찢어지는 현상은 주로 다이 코너부의 sharpness 와 표면의 거친 정도에 의해 발생한다고 보여진다. 이러한 찢어지는 현상을 개선하기 위해서는 다이 코너부의 라운드를 개선해야 하며 표면처리를 통해 결함을 줄일 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 크기와 정확도에 관련하여 제조 가능한 부품 소형화의 한계를 규명하려 했으며 초미세 금속 박판 성형의 관점에서 새로운 마이크로 포밍

공정을 제시했다. 마이크로 머시닝에 의해 제작된 폭  $6\sim 14\ \mu\text{m}$ , 깊이  $3, 6\ \mu\text{m}$ 의 그루브를 가지는 Si 웨이퍼 다이를 사용하여  $3\ \mu\text{m}$ 와  $1\ \mu\text{m}$  두께의 구리 박판과  $2.5\ \mu\text{m}$  두께의 스테인리스 스틸 박판을 성형하였다. 다양한 형상의 마이크로 채널을 성형하는데 성공하였으며  $3\ \mu\text{m}$  두께의 구리 박판에 대해서 우수한 성형성을 얻을 수 있었다.  $2.5\ \mu\text{m}$  두께의 AISI304 스테인리스 스틸 박판의 성형에서는 소재 자체의 성질과 상대적으로 낮은 성형압에 의해 완전한 성형이 이루어지지 않았다. 이러한 결과를 바탕으로 실험적으로 미세 박판의 마이크로 채널 성형시 두께 방향으로의 치수 변화에 대한 정보를 얻었으며 rigid plastic finite element program 인 DEFORM 2D 를 사용한 결과와 비교 분석하였다. 금속 박판의 성형시 표면 결함을 줄이고 성형성을 보다 향상시키기 위해서는 다이 그루브 모서리의 곡률을 보다 크게 하여야 하며 다이 표면의 특성을 개선함으로써 다이와 소재 사이의 마찰과 접촉 특성을 줄이는 시도가 필요할 것이다.

#### 참고문헌

- (1) Vollertsen, F., Hu, Z., Schulze Niehoff, H. and Theiler, C., 2004, "State of the Art in Micro Forming and Investigations into Micro Deep Drawing," *Journal of Materials Processing Technology*, 151, pp.70~79.
- (2) Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein, R., Tiesler, N. and Engel, U., 2001, "Microforming," *Annals of the CIRP*, 50/2, pp.445~459.
- (3) Lke, H. and Plancak, M., 1998, "Coining Process as a Means of Controlling Surface Microgeometry," *Journal of Materials Processing Technology*, 80~81, pp. 101~107.
- (4) Joo, B.-Y. and Oh, S.-I., 2001, "Development of Micro Punching System," *Annals of the CIRP*, 50/1, pp. 191~194.
- (5) Baek, S.W., Rhim, S.H. and Oh, S.I., 2005, "Evaluation of Punching Process Variables Influencing Micro Via-hole Quality of LTCC Green Sheet," *Transactions of Materials Processing*, Vol.14, No.3, pp. 277~281.
- (6) Liu, Y., Liew, L.-A., Luo, R. and An, L., 2001, "Fabrication of SiCN MEMS Structures Using Microforged Molds," *MEMS 2001, IEEE*, 21-25, pp. 119~121.