

집속이온빔(FIB)로 가공된 10마이크로미터 급의 마이크로 밀링 툴의 제작 Fabrication of 10 micrometer scale micro-milling tools made by focused ion beam

*김충수¹, 추원식¹, #안성훈¹, 장동영², Jitendra Kumar Pandey¹, 정범석¹, Zafar Hameed¹

*C. S. Kim¹, W. S. Chu¹, #S.H.Ahn¹(ahnsh@snu.ac.kr), D.Y. Jang², J. K. Pandey¹, B. S. Jung¹, Z. Hameed¹

¹ 서울대학교 기계항공공학부, ² 서울산업대학교 산업정보시스템 공학과

Key words : Focused ion beam, Micro-milling tool, Micro-machining

1. 서론

마이크로 가공은 높은 공간 효율과 이동성의 장점을 가지기 위해 점차 작아지는 부품을 제작하기 위해 요구되어지는 필수적인 기술이다¹. 그 중 마이크로 밀링은 Printed circuit board (PCB), 반도체용 마스크의 제작, 바이오 약품, 시계산업 및 의료기구의 제작 등의 많은 산업²⁶에 이용되는 가공 방법 중 하나이다. 그러나 이러한 마이크로 밀링은 툴을 제작하는데 어려움이 따른다는 단점을 포함하고 있다¹.

와이어 그라운드 가공, 마이크로 방전 가공, 레이저 가공, 입자빔 가공 등의 기술을 포함하는 마이크로 가공기술은 고정밀 및 고정확도를 가지기 위하여 계속해서 발전하고 있다⁷. 이러한 마이크로 가공기술 중에 입자빔을 이용한 집속이온빔 가공은 전자빔 가공이 가지는 생산성을 뛰어 넘는 기술을 포함하며 마이크로 및 나노스케일 영역의 가공에 많이 사용된다. 게다가 집속이온빔 공정은 절삭 및 증착 공정의 복합가공 공정이 가능하다. 이러한 집속이온빔의 가공공정 중 절삭가공(스퍼터링)을 이용하여 1996년 미국 샌디아 연구소에서는 처음으로 마이크로 툴을 제작하였고 지속적인 연구를 통하여 여러 가지 형상을 가지는 마이크로 툴을 제작하여 다양한 재료를 가공하였다⁸⁻¹¹.

본 논문에서는 집속이온빔 절삭공정을 이용한 초소형의 마이크로 툴의 제작과 이를 통한 가공 실험을 전자현미경을 통하여 관찰하였다.

2. 툴 재료 및 이온빔 가공

일반적으로 마이크로 툴로 사용되는 재료는 다이아몬드, 텅스텐 카바이드 및 고속도강과 같은 고강도를 가지는 재료들이 사용된다. 본 연구에서는 비교적 좋은 기계적 물성을 가지며 일반적으로 쉽게 구할 수 있는 텅스텐을 마이크로 툴 제작에 사용했고, 이 텅스텐 사프트는 Fig. 1과 같다. 텅스텐 사프트의 한쪽 끝은 화학적 부식을 통하여 날카롭게 가공이 되었으며 약 30 μm ~60 μm 의 반경을 가진다. 텅스텐의 비커스 경도는 약 411 GPa이고 탄성계수는 3430 MPa이다¹².

본 연구에서 사용된 집속이온빔 시스템은 SMI3050 (SII Nanotechnology)이다. 수십 마이크로미터 영역의 절삭 가공을 위하여 3가지 종류의 고전류 이온빔을 사용했다 (Table 1).

3. 마이크로툴의 제작

앞절에서 선정된 툴재료와 이온빔 조건을 이용하여 Fig. 2와 같은 순서로 툴이 제작되었다. Fig. 2(a)는 Fig. 1의 원재료를 고정구에 놓혀 놓은 상태에서 초기 컷팅을 한 상태이다. Fig. 2(b)는 초기 컷팅 후 툴의 제작을 위하여 축의 중심으로부터 양면을 대략 폭 10 μm , 길이 20 μm 의 길이로 툴제작을 한 후 Fig. 2(c)와 같이 90° 회전 시켰다. 회전 된 텅스텐은 Fig. 2(d)와 같이 다시 한 번 툴 제작 공정을 한 후 Fig. 2(e)와 같이 Fig. 2(b)와 같은 폭을 갖도록 가공되어졌다. Fig. 2(f)는 최종 완성 된 툴의 모습이다. 제작된 툴의 크기는 Fig. 3의 정면도에 나와 있다.



Fig. 1 Electrochemically sharpened tungsten shaft

Table 1 High current ion beam condition

No.	Spot size (nm)	Ion current (pA)	Current density (A/cm ²)
1	115	6640.625	63.96
2	160	13427.734	66.81
3	200	23291.016	74.17

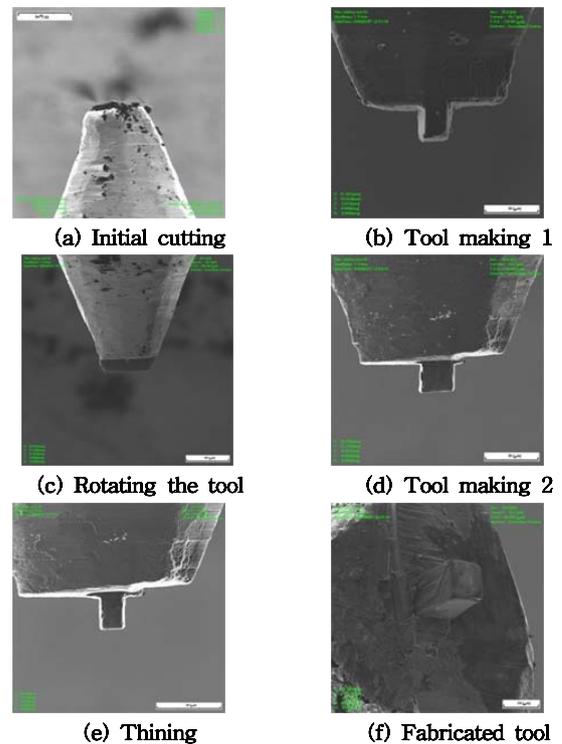


Fig. 2 Micro-tool fabrication procedures: destructive process by ion beam sputtering.

이온빔 조사 방향

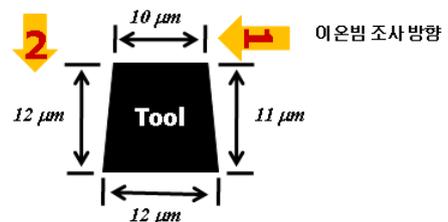


Fig. 3 Front view of micro-tool and final dimension of the tool influenced by Gaussian beam distribution.

Fig. 3을 보면 각 면의 아래와 위의 크기가 차이가 난다. 이는 이온빔이 가지고 있는 고유한 성질인 가우시안 빔 분포에 따른 것으로 이온빔 직경의 센터에서의 빔의 크기가 빔직경의 양쪽 끝보다 2~3 오더(order) 정도 높기 때문이다. 따라서, Fig. 3의 이온빔 조사 방향 1과 2에 따라서 조사 방향의 반대편이 1~2 μm 정도 큰 크기를 갖는 약간 경사진 툴이 제작되었으며, 이 4면을 갖는 툴의 직경은 약 17 μm 정도이다.

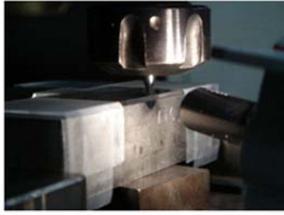


Fig. 4 Micro-tool mounted on the collet and tool approach between tool and workpiece.

Table 2 Micro-machning experimental condition for micro-milling tool on PMMA and Polycarbonate

No.	Tool Material	rpm	Movement Speed ($\mu\text{m}/\text{sec}$)	Workpiece	Shape
1	Tungsten	42000	50	PMMA	Channel
2	Tungsten	42000	50	PMMA	Spiral
3	Tungsten	42000	50	PMMA	Array
4	Tungsten	42000	50	Polycarbonate	Channel
5	Tungsten	42000	50	Polycarbonate	Spiral
6	Tungsten	42000	50	Polycarbonate	Array

4. 마이크로 밀링 실험

집속이온빔으로 제작된 17 μm 의 직경을 가지는 툴을 이용한 마이크로 가공을 하기 위하여 최대 스피드 속도 4,200 rpm, 런-아웃 약 2 μm 및 마이크로 스테이지를 사용하여 마이크로 밀링을 수행하였다. 툴을 시료에 레퍼런싱(referencing)을 위하여 광학현미경을 사용하였다. Fig. 4는 스피드들의 콜릿(collet)에 장착된 마이크로 툴의 모습을 보여준다.

마이크로 가공 실험을 위하여 PMMA와 Polycarbonate가 피삭제로 사용되었다. 실험 결과 Fig. 5(a-c)와 같이 폭 19 (아래)~22 (위) μm 의 폭을 가지는 채널, 스파이럴 및 홀 배열이 PMMA 위에 가공되었으며 주위에 많은 양의 버 및 칩이 생성되었다. Polycarbonate의 경우 마찬가지로 Fig. 5(d-f)와 같이 폭 19 (아래)~22 (위) μm 를 가지는 채널, 스파이럴 및 홀 배열이 생성되었으며, 이 경우는 에탄올을 이용하여 버 및 칩을 제거하였다. 하지만 에탄올 세척 시 버 (burr) 및 칩 (chip)이 가공된 채널 속으로 일부 침입한 것을 볼 수 있다. 생성된 가공폭은 툴의 런-아웃을 고려했을 때 보여줄 수 있는 최고의 성능을 나타낸다.

5. 결론

우수한 기계적 성질을 가지는 텅스텐에 고전류의 이온빔을 조사하여 직경 17 μm 및 길이 20 μm 를 가지는 4면의 마이크로 밀링 툴을 제작하였으며, 이를 이용하여 피삭체인 PMMA와 polycarbonate를 19(아래)~22(위) μm 의 폭을 가지는 채널, 스파이럴 및 홀배열을 가공하였다. 약 20 μm 의 폭을 가지는 아주 작은 형상을 가공하였으나 가공 시 생성되는 버 및 칩들의 효율적인 제거 방법이 요구되어지고, 또한, 목표된 깊이를 정확하게 가공할 수 있는 레퍼런싱 기술 등의 추가연구가 필요하다.

후기

본 논문은 산업자원부의 서울테크노파크의 차세대패키징 공정-장비 실용화사업 (No. 10029790), 차세대 신기술개발 사업 (No. 10030046), 2단계 BK21사업 및 서울대학교 공학연구소와 ERC(Micro Thermal System Research Center)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

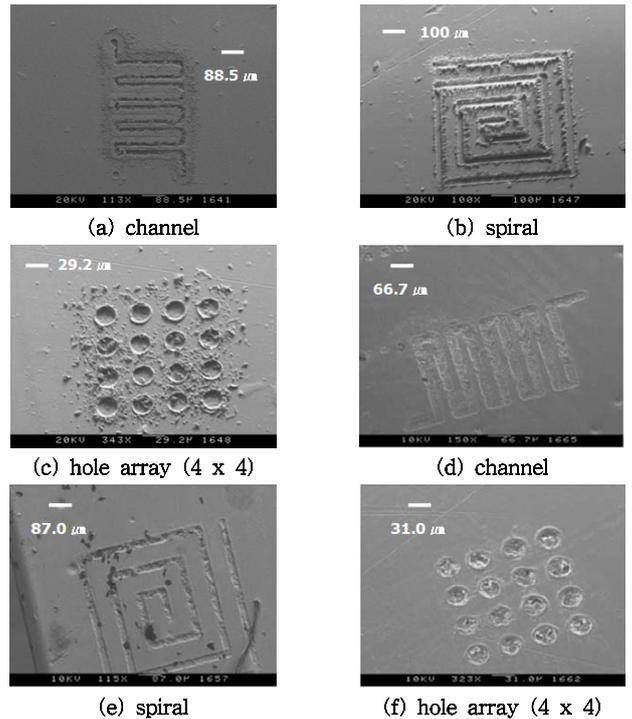


Fig. 5 Micro-milling test of 17 μm diameter tool on PMMA(a-c) and polycarbonate(d-f).

참고문헌

1. Masuzawa, T. and Tönshoff, H.K., "Three-dimensional micromachining by machine tools", Annals of CIRP - Manufacturing Technology, 46, 621-628, 1997.
2. Chang, W.S., Choi, M.J., Kim, J.G., Cho, S.H. and Whang, K.H., "Thin film micromachining using femtosecond laser photo patterning of organic self-assembled monolayers", Int. J. Prec. Eng. and Manuf., 7, 13-17, 2006.
3. Filiz, S., Xie, L., Weiss, L.E. and Ozdoganlar, O.B., "Micromilling of microbarbs for medical implants", Int. J. of Mach. Tools and Manuf., 48, 459-472, 2008.
4. Rainelli, A., Stratz, R., Schweizer, K. and Hauser, P.C., "Miniature flow-injection analysis manifold created by micromilling", Talanta, 61, 659, 2003.
5. Friedrich, C., Coane, P., Goetter, J. and Gopinathin, N., "Direct fabrication of deep x-ray lithography masks by micromechanical milling", Precision Engineering, 22, 164-173, 1998.
6. Bissacco, G., Hansen, H.N. and Chiffre, L.D., "Micromilling of hardened tool steel for mould making applications", Journal of Material Processing Technology, 167, 201-207, 2005.
7. Takács, M., Verő, B. and Mészáros, I., "Micromilling of metallic materials", Journal of Materials Processing Technology, 138, 152, 2003.
8. Vasile, M.J., Friedrich, C.R., Kikkeri, B. and R. McElhannon, "Micrometer-scale machining: tool fabrication and initial results", Precision Engineering, 19, 180-186, 1996.
9. Vasile, M.J. Nassar, R. Xie, J. and Guo, H., "Microfabrication techniques using focused ion beams and emergent applications", Micron, 30, 235-244, 1999.
10. Adams, D.P. Vasile, M.J. Benavides, G. and Campbell, A.N., "Micromilling of metal alloys with focused ion beam-fabricated tools", Precision Engineering, 25, 107-113, 2001.
11. Picard, T.N., Adams, D.P., Vasile, M.J. and Ritchey, M.B., "Focused ion beam-shaped microtools for ultra-precision machining of cylindrical components", Precision Engineering, 27, 59-69, 2003.
12. <http://en.wikipedia.org/wiki/Tungsten>