

# 단결정 다이아몬드공구를 사용한 3차원 마이크로패턴 가공기술개발 Development of 3-Dimensional Micro Pattern Machining Technology Using SPDT

\*#장동빈<sup>1</sup>, 원성국<sup>1</sup>, 임정식<sup>1</sup>, 박영덕<sup>2</sup>

\*D. B. Jang(sometools@empal.com)<sup>1</sup>, S. K. Won<sup>1</sup>, J. S. Lim<sup>1</sup>, Y. D. Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>신진다이아몬드공업, <sup>2</sup>충남테크노파크디스플레이센터

Key words : Ultra Precision Machining, HOE(Holographic Optics Elements), SPDT(Single Point Diamond Tools),

## 1. 서론

빛을 만드는 것부터 빛이 사용되어지는 곳으로 전송하는 것까지 빛을 제어하는 것은 우리 시대의 주요 과제 중 하나이다. 최근에는 장비의 고기능화 추세와 제품의 소형화와 함께, 광-일렉트로닉스 관련기기에서는 사용하는 광(光)의 파장에 따라 광학부품의 형상정밀도나 표면 거칠기가 결정된다. 예를 들면 HeNe 레이저광(파장 633nm)을 사용한다면 표면 거칠기는 그 파장의 1/20 이하인 32nm 즉, 나노기술이 요구되는 영역이다.

지금까지는 3차원 마이크로 가공은 포토-리소그래피, 이온빔과 같은 반도체 공정기술이 사용되고 있다. 이 기술은 공정 특성상 부드러운 표면을 얻기 힘들기 때문에 경사면과 곡면 형상은 단계적으로 근접해나가고 있는 수준이며, 이러한 장치 및 설비에 막대한 비용과 전문기술이 필요하기 때문에 화운더리 네트워크와 같은 설비의 공동이용으로 해결해야 하는 어려움이 있다. 하지만 매우 날카로운 커팅 에지와 정밀한 형태를 지니고 있는 단결정 다이아몬드공구를 사용한다면 3차원 마이크로패턴 가공을 보다 쉽게 기계적 절삭가공으로 접근할 수 있다.

최근 1 nm 이하의 정밀도를 갖는 전용공작기계의 도입으로 기계적인 미세 가공을 통해서 반도체기술로 얻지 못하는 3차원 마이크로 형상의 요구에 의해서 신진다이아몬드공업에서는 대표적인 응용제품으로 3차원의 HOE(홀로그래픽 광학 요소) 몰드 가공에 사용될 사각 홈 가공에 최소 폭의 홈 크기를 15 μm의 초정밀 단결정 다이아몬드공구인 Nano-groove를 제작하여 충남테크노파크 디스플레이센터에서 공구형상의 전사정도를 공구의 인선 폭에 대한 가공면 편차를 측정하여, HOE 몰드에서 사출된 플라스틱 HOE 제품의 표면거칠기와 형상정밀도 값을 기존의 반도체 가공기술과 비교하고 이들 값이 차이가 광학특성에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구이다.

## 2. 단결정 다이아몬드공구의 성능

3차원의 HOE 몰드 가공에 사용될 SPDT(Single point diamond tool)는 매우 예리하고 내구력이 강한 커팅 에지를 지닌 단결정 다이아몬드를 이용한 것이다. Fig 1에서는 SPDT 용의 다이아몬드 원석을 보여주고 있다.

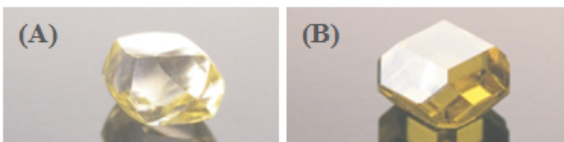


Fig. 1 Morphology of used diamonds; (A) Natural, (B) Synthesis

Fig 1에서처럼 다이아몬드가 갖고 있는 결정의 형상 즉, 방향성(anisotropy) 때문에 가공하기 전 다이아몬드의 기본적인 정보를 파악해야 한다. 결정조직과 내부구조 등을 조사하는 기계적인 작업을 선행하는데 이것은 연마 방향을 비롯한 최적의 작업 경로를 결정하는 가장 기초적이고 중요한 연구이다.

다이아몬드 결정에서 원자 밀도는 8면인 {111}면에서 가장 높다. 6각형인 {100}면의 밀도를 1이라 할 때, {111}과 {110}의 밀도는 각각 2.308, 1.414 이다. 원자 밀도의 방향성 차이는 각기 다른 방향에 따른 다이아몬드의 가공성에 영향을 고려하여 가공한다면, 다이아몬드의 결정구조에서 각각의 탄소 원자가 4개의 다른 원자와 강하게 공유결합을 이루고 있기 때문에 예리한 커팅 에지를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

Fig 2에서는 3차원의 HOE(홀로그래픽 광학 요소) 몰드 가공에 사용될 사각 홈형상의 마이크로패턴 가공에 최소 폭의 홈 크기를 15 μm 크기로 제작한 도면이다.

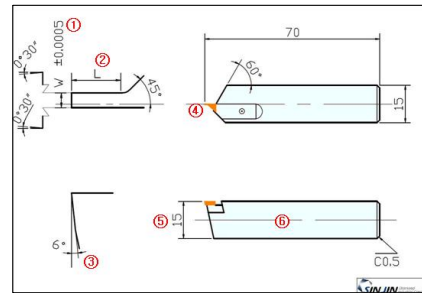


Fig. 2 Drawing of SPDT Nano-groove ; ① width(15 μm), ② Cutting Area(30 μm), ③ Front Clearance Angle( 6°), ④ Single crystal diamond(111/100), ⑤Height(15 mm), ⑥ Shank(Insert;WC-Co)

본 연구에서는 Fig 2처럼 3차원의 복잡한 형상을 가지면서 매끄러운 커팅부 여유면의 면조도를 갖는 단결정 다이아몬드공구를 제작하기 위하여 Fig 3에서 보여주는 초정밀급 다이아몬드 연삭기를 영국 CORBON 사로부터 2009년 도입한 PG-3B 최신 모델이다.



Fig. 3 Photograph of Planetary Grinding Machine(PG-3B).

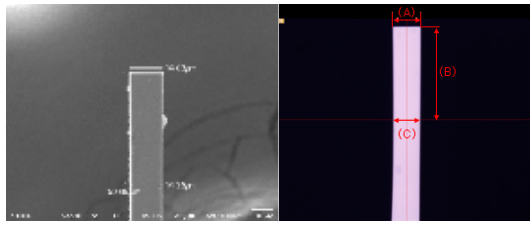
Fig 3에서 나타난 연삭장치와 새롭게 개발한 연마기술에 의해 연마시 인선결손의 원인인 진동의 제어와 최종 연마량의 크기를 1 μm 이하로 컨트롤함으로써 인선 폭을 15 μm으로 실현시켰으며, 또한 프로파일 형상은 직선 에지에서 1nm (1mm 구간)의 직진도(straightness)와 원형 아크 에지에서 50nm (90° 구간)의 진원도(roundness)로 높은 수준의 정밀도에 도달했다.

이러한 결과를 얻기 위해서, 다음과 같은 단결정 다이아몬드공구 개발에 핵심적인 기술적 장애물들을 성공적으로 극복하였다.

- (1) Selection of single crystal diamond
- (2) Optimization of diamond crystal orientation
- (3) Development of ultra precision polishing system
- (4) Development of precision profile shape measuring equipment

본 연구에서는 이러한 기술들을 이용하여, 3차원의 HOE 몰드 가공에 사용될 SPDT Nano-groove 를 제작하였다.

Fig 4 에서는 사각 홈형상의 마이크로패턴 가공에 사용할 최소 폭의 홈 크기를 15 μm 크기로 제작한 SPDT의 사진이다.



(a) SEM (b) Optics

Fig. 4 SPDT Nano-groove for making 15 μm grooves

본 연구에서는 3 차원의 마이크로패턴을 가공할 단결정 다이아몬드공구의 제작 가능한 Spec. 을 결정하기 위하여 Fig 4의 (b)에서 난이도가 높은 15 μm 폭(A)일 때, Cutting Area(B)와 그 지점에서 공구의 폭(C)이 날끝 부분의 (A)의 차이를 최소로 하여 제작하였다.

### 3. 3차원 마이크로패턴 가공기술

#### 3-1 실험장치

3 차원의 마이크로패턴을 가공하기 위해 사용된 Nano-Groove 장비는 문형 방식의 대형 도광판 가공기(AMG-71P, 일본 Nachi-Fujikoshi社)로 최대이송속도 15m/min, Slide는 Linear motor 와 유정압 Slide 방식이다. 단결정 다이아몬드공구의 성능 및 가공특성을 파악하기 위해 가공실험을 1차, 2차 나누어 실시하였으며, 가공이 완료된 시편의 가공면 관찰에는 Confocal Microscope(Keyence VK-9510, 일본)를 사용하였다.

#### 3-2 실험방법

마이크로패턴을 가공하기 위해서 사용된 재료는 5 Inch 크기의 동(Cu)도금 Core 금형이며, 도금층의 두께는 450 ~ 500 μm 이다. 마이크로 패턴가공을 위해 평면연마 후 R 공구를 이용하여 경면을 가공하였다. 공구의 영점을 셋팅 한 후 공구의 특성을 파악하기 위해 가공 속도를 8m/min, 6m/min 변화시키고, 가공 깊이를 1 ~ 25 μm 범위에서 변화시키면서 가공실험을 하였다. 실험 조건을 Table 1, 2에 정리하였다.

Table. 1 1st experimental condition

Cutting speed(m/min)	8 m/min			
Size of workpiece(mm)	120 x 120 mm			
Depth of cut(μm)	4.5	8.5	12.5	16.5

Table. 2 2nd experimental condition

Cutting speed(m/min)	6 m/min							
Size of workpiece(mm)	120 x 120 mm							
Depth of cut(μm)	3	6	9	12	15	18	21	24

#### 3-3 실험결과 및 고찰

##### 3-3-1 가공 속도에 따른 절삭 특성

3 차원 마이크로패턴 가공을 위해서 가공 속도를 1차 실험 8 m/min 와 2차 실험 6 m/min 로 했을 때, 가공 깊이에 따른 가공면 편차를 측정하여 Fig 5, 6에 나타내었다. 가공 속도가 빠른 1차 실험에서는 가공깊이가 12.5부터 칩핑이 발생하여 16.5에서 파손이 발생되었고, 가공 속도가 느린 2차 실험에서는 가공 깊이가 21부터 칩핑이 발생하여 24에서 파손되었다. 가공면 편차가 가장 양호한 조건은 2차 실험의 12와 15 μm 이었다.

##### 3-3-2 가공 깊이에 따른 절삭 특성

1차 실험에서 최대가공 깊이가 16.5 μm에서 공구가 파손되었으며, 가공 깊이에 따른 공구수명의 관계를 세분화하기 위하여 4 μm에서 3 μm으로 가공 깊이를 낮추어 2차 실험에서는 최대가공깊이가 21 μm까지 파손되지 않음을 확인하였다. 그러나 절삭면 분석결과, 가공 측면의 Edge가 가공깊이가 깊어짐에 따라

절삭 Chip 배출시 뜯겨 나간 것으로 관찰되었다. 이러한 원인은 가공속도가 낮아짐으로 인해서 공구가 받는 Stress는 저하되었지만, 가공성은 오히려 더 나빠지는 것으로 확인되었다.

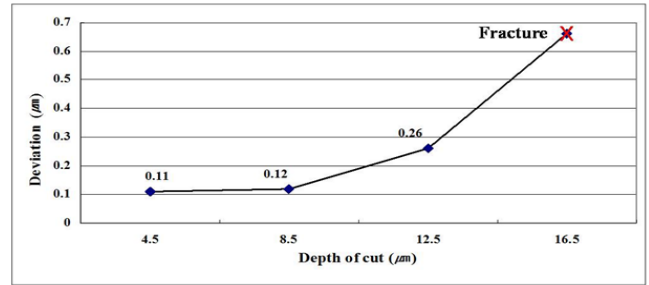


Fig. 5 1st experimental variations according to the cutting depth (cutting speed : 8 m/min, material of workpiece : core mold of Cu electroplated, number of machining : 200 pieces)

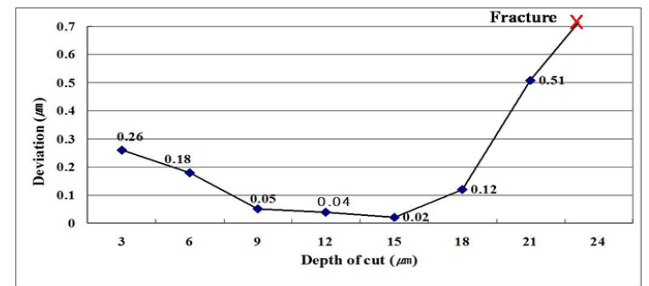


Fig. 6 2nd experimental variations according to the cutting depth (cutting speed : 6 m/min, material of workpiece : core mold of Cu electroplated, number of machining : 200 pieces)

## 4. 결론

본 연구에서는 3 차원 HOE 몰드 가공용 사각 홈 형상의 단결정 다이아몬드 공구를 새롭게 도입한 PG3B 연삭장치와 연마기술에 의해 연마시 인선결손의 원인인 진동의 제어와 최종 연마량의 크기를 1 μm 이하로 컨트롤함으로써 인선 폭을 15 μm으로 실현시켰으며, 이들 공구를 사용하여 1차 실험과 2차 실험을 통하여 공구의 인선 폭에 대한 가공면 편차를 측정된 결과 공구 홈의 크기가 15 μm 일 때, 가공속도가 6 m/min에서 가장 양호하였으며, 같은 조건에서 절삭깊이가 15 μm에서 가공 깊이에 대한 편차가 최소로 나타났다.

현재 2차 실험 결과에 대한 표면거칠기와 형상정밀도 값을 측정하고 있으며, 공구의 폭이 15 μm 일 때 단결정 다이아몬드공구의 폭을 20 μm으로 제작해야 공구의 강성이 향상될 것으로 예상되며, 공구 1 개의 수명을 극대화하기 위하여 내마모성 연구가 진행 중에 있다. 또한 향후 사출된 플라스틱 HOE 제품의 광학특성에 미치는 영향에 대한 연구를 발표할 계획이다.

## 후기

본 연구는 2009년 중소기업기술혁신개발사업의 지원을 받아 수행된 1차년도 연구의 일부임 (과제번호:S1058079)

## 참고문헌

1. A. Kobayashi: "Function and Use of "UPC" Nano Series Nanomicro-Forming Cutting Tools" Tool Engineer (2003.7)
2. P. Daniel : "Practical uses of diamond", 18-21, 1993.
3. 川合 知二: "나노테크 활용기술의 모든 것" 대영사, 265-274, 2004.
4. 이징구: "정밀가공학" 기전연구사, 133-147, 2008.