

광학소자 가공방법(광학결정의 초정밀 연마③)

유전체 결정 재료의 경면 연마

1. 머리말

현재 공업적으로 사용되고 있는 유전체 결정 재료에는 수정, 니오브산 리튬, 탄탈산 리튬 등 다양한 종류의 재료가 있다. 본 고에서는 최근 대용량 기록 매체로 주목받고 있는 광 디스크의 신호 기록 재생용 광 픽업 광학 부품으로 이용되고 있는 수정제 파장판 및 니오브산 리튬제 프리즘의 경면 연마 방법에 대해 설명하겠다.

2. 광 픽업용 광학 부품의 사양

광 픽업용 광학 부품의 사양은 각각의 광 픽업 설계에 따라 달라진다. 최근 기록 밀도의 대용량화에 따라 사용 반도체 레이저의 단파장화가 진행되고, 광학 부품에 요구되는 정밀도도 매년 엄격해지고 있다. 아래에 연마 가공에 따라 특성이 좌우되는 사양에 대해 간단히 설명한다.

2.1 투과 파면 수차

양면 연마된 광학 소자를 투과한 빛의 파면 정밀도를 T_w , 양주면의 반사 파면 정밀도를 각각 AR, BR, 삭재의 굴절률을 N, 굴절률의 균질성을 ΔN , 삭재의 두께를 d로 할 경우 투과 파면 정밀도와 반사 파면 정밀도의 관계는

$$T_w = (N-1) \times (AR + BR) + (\Delta N \times d)$$

가 된다. 즉 투과 파면의 정밀도는 양 주면의 면 정밀도와 사용하는 삭재의 굴절률의 균질도로 정해진다. 수정이나 니오브산 리튬 등 유전체 결정 재료의 굴절률은 균질하기 때문에 실제로는 연마면 정밀도가 중요해진다. 이 연마면 정밀도를 평가하는 수단의 하나로써 투과 파면 수차가 있고, 이 수차량이 크면 광 디스크 위에서 레이저 빔이 초점을 잡지 못하고 신호의 기록 재생에 영향을 미친다.

2.2 파장판의 위상차

파장판은 수정을 전파하는 상광선과 이상광선의 전파 속도의 차이로 소정의 위상차를 발생시키는 소자이다. 그림 1은 대표적인 파장판의 기능을 나타낸 것이다.

여기에서 광학계에 사용되는 반도체 레이저 파장을 λ , 상광선의 굴절률을 N_o , 이상광선의 굴절률을 N_e 로 표시했을 때 파장판의 위상차 δ 와 판 두께 t의 관계는

$$\delta = 2\pi/\lambda \times (N_e - N_o) \times t$$

가 된다. 즉 위상차의 정밀도는 기판 두께에 따라 결정된다. 파장판의 종류에 따라서는 두께와 평행도를 10^{-4} mm의 정밀도로 제어할 수 있는 고정밀 연마가 필요하다. 일반적으로 위상차가 설계값에서 크게 벗어나면 레이저 빔의 편광 상태가 불안정해져 노이즈가 커진다.

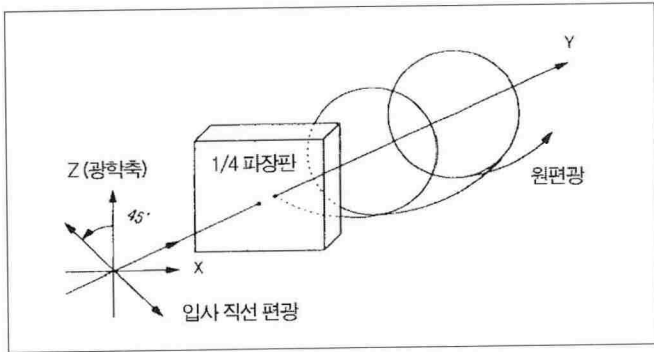


그림 1. 1/4 파장판의 기능

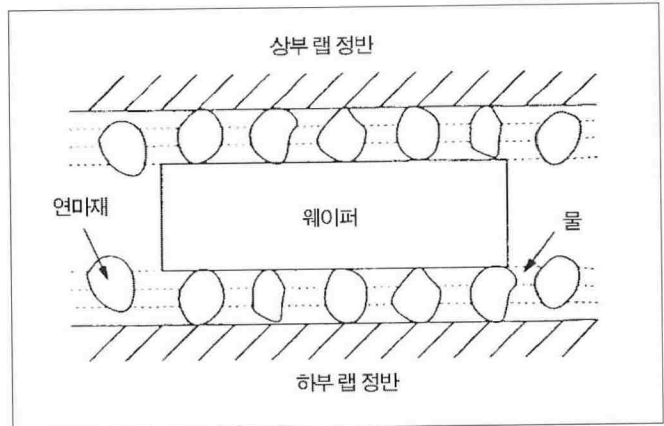


그림 2. 4-WAY 양면 연마의 모식도

2.3 투과율

광학 소자를 투과한 빛의 투과 전후의 광량 비율을 투과율이라 하고, 소자의 재질이나 사용 파장 대역 및 연마면의 질(면 조도와 표면 변색 등)에 따라 그 값은 다르다. 단, 재질과 사용 파장 대역을 일정하게 한 경우에는 면 질에 의한 영향을 가장 받기 쉽고, 연마 가공 상 주의해야 되는 파라미터 중 하나이다.

이렇게 정밀도가 높은 연마 가공이 요구되는 광학 부품이라고 해도 정밀도를 중시한 나머지 비용이 많이 든다면 의미가 없어진다. 특히, 일반 시장에서는 낮은 비용이 최대의 포인트라 해도 과언이 아니며, 사양을 만족하는 동시에 낮은 비용으로 양산할 수 있는 연마 가공 조건을 발견하는 일이 중요한 과제이다.

여기서는 생산성을 포함한 연마 방법에 대해 설명하겠다.

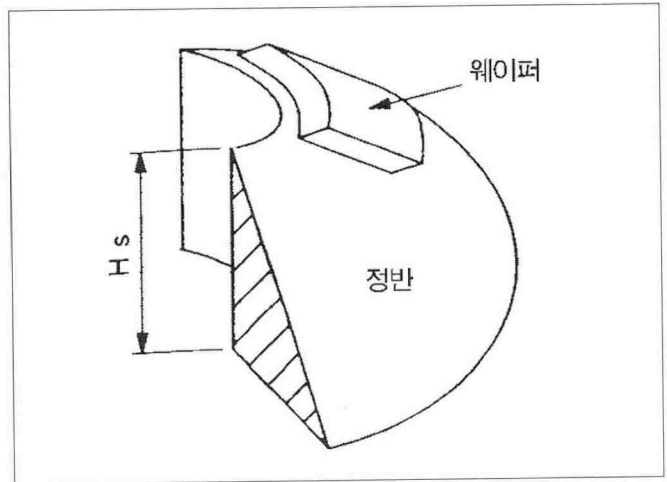


그림 3. 내외주 높이 차 Hs

3. 수정 파장 판의 연마 가공

연마 가공에 들어가기 전의 기판은 림버드 가공된 인공 수정 잉곳을 절단해 제작한다. 일반적으로 절단에는 외주 다이아몬드 절단기, 연마재와 강철판을 이용하는 멀티 블레이드 절단기를 사용한다. 최근에는 와이어 톱으로 절단하고 랩 공정 이후의 가공 정밀도를 향상시켜 수율 향상 및 작업의 효율화를 꾀하는 움직임도 일어나고 있다.

파장판은 일반적으로 Y컷(절정 Y축에 수직)판으로 제작한다. Y컷판은 수정 진동자로서 쉽게 발전하고, 두께와 주파수의 상관 관계는 X컷판보다 안정적으로 도출할 수 있다. 측정 정밀도는 10^{-4} mm이고, 두께 정밀도가 엄격한 파장판 연마에서 연마량을 제어하고 가공 효율을 향상하기 위한 중요한 포인트이다.

다음으로 기판은 절단으로 생긴 테이퍼나 만곡 상태를 양면 랩반을 이용하여 평행 평판으로 만든다. 이 연마 공정은 평행화와 표면의 큰 크랙층을 제거하기 위해 이루어지고, 일반적으로는 가공 효율과 면 정밀도를 고려해 SiC #1000 지립 및 SiC #3000으로 래핑한 뒤 CeO₂ 지립으로 폴리싱 경면 가공을 한다.

이와 같이 양면 랩, 폴리싱을 하는 양산 장치로는 상하반이 모두 반전하는 4-WAY 양면 연마기가 적합하다(그림 2).

파장판의 정밀 연마에서는 앞에서 언급한 면 정밀도·평행도 및 판 두께 편차의 엄격한 요구 조건을 만족시키기 위해 래핑, 폴리싱 양쪽에 다음과 같은 연마 기술이 필요하다.

3.1 래핑 가공의 조건 설정

(1) 랩 정반의 관리

랩 가공에서는 연마기의 정반 면 형상이 기판에 전사되기 때문에 정반 관리가 특히 중요하다. 정반의 면 형상은 완전히 평탄한 것이 이상적이긴 하지만 양산에 사용하는 양면 랩 기기의 경우에는 다음과 같은 면 상태로 관리하면 된다.

- ① 상반과 하반의 형상이 잘 맞는다.
- ② 내외주 높이 차 Hs가 작다(그림 3).
- ③ 반경부 단면 진직도 Ws가 작다(그림 4).

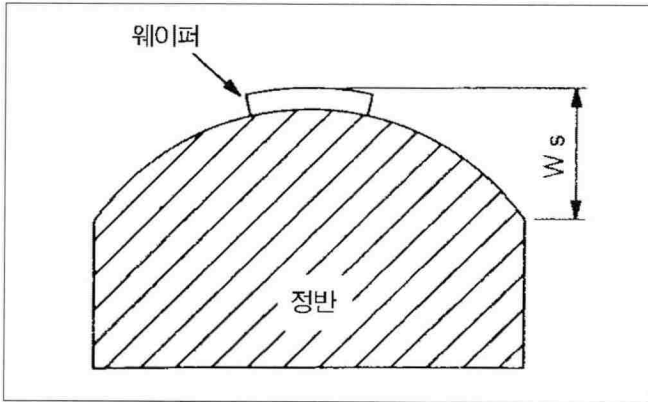


그림 4. 반경부 단면 직진도 Ws

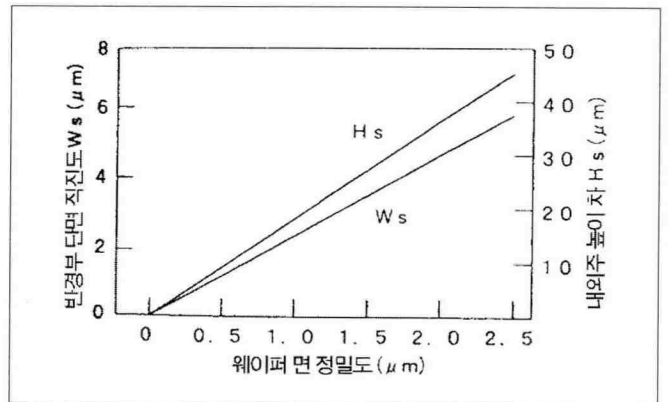


그림 5. 정반 형상과 면 정밀도

정반 형상과 작업물 면의 정밀도·평행도는 밀접한 관계가 있기 때문에(그림 5), 그 밖의 인자를 일정하게 하면 정반의 형상에 따라 연마 후 작업물의 정밀도가 정해진다.

정반의 형상 변화는 가공 작업물의 크기·형상·두께 및 연마재의 상태 등에 따라서도 달라진다. 이 때문에 양산 시에는 정반 수정 방법이나 수정 주기 조건을 설정해 둘 필요가 있으며, 정반의 면 형상을 정량적으로 측정, 관리하는 것이 중요하다.

정반 형상 측정기는 시판되고 있으며, 단시간에 고정밀도로 측정할 수 있게 되어 있다.

(2) 정반 수정

양산 시의 정반 수정은 생산성을 고려해 몇 로트 가공할 때마다 이루어지고, 수정 방법으로는 랩 마스터나 수정 링을 이용한다. 수정 링으로 수정하는 경우, 우선 정반 형상이 내주 및 외주부 중에서 어느 쪽이 높은가를 높은가를 파악하고 높은 부분의 링과 정반의 상대 속도가 커지도록 회전 방향과 속도 조건을 설정해 수정한다.

(3) 랩반의 회전 조건(회전 비율)

가공에 따른 정반 및 작업물의 변형을 최소한으로 억제하기 위해서는 랩반의 회전 조건(회전 비율)도 중요한 인자가 된다. 연마됨에 따라 작업물에 변형이나 테이퍼가 발생하는 것은 박판의 양면 및 면 안에서의 가공 상태(잔류 응력층의 깊이나 크기 등)가 다른 것에 기인한다. 따라서 가능한 한 작업물 안의 가공량이 평균화, 분산화되어야 한다. 연마 가공량 W는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$W = \eta \cdot V \cdot P \cdot t \cdot 10^6$$

W : 가공량 (μm), η : 비례 상수
 V : 상대 속도 (mm/s)
 P : 압력 (Pa), t : 시간 (s)

따라서 가공량을 균일화 하려면 정반과 작업물의 적당한 상대 속도를 생각해야 된다. 양면 연마기의 경우, 선 기어(Sun Gear)와 인터널 기어(Internal Gear)의 회전에 의해 캐리어가 자전하면서 공전하고, 상부 정반과 하부 정반이 역방향으로 회전한다. 기어비는 각 랩 기어의 종류에 따라 고정되지만 회전 비율은 각 구동부의 속도에 따라 임의로 설정할 수 있다. 상대 속도는 이 회전 비율로 결정되기 때문에 캐리어의 강도나 가공 속도 등도 고려한 다음에 작업물 내의 상대 속도가 작아지도록 회전 비율을 설정할 필요가 있다.

(4) 그 외

연마재의 경우 폴리싱 공정에서 연마량을 가능한 한 적게 하는 것이 좋다는 점과 생산성을 고려하고, 가공 변질층이 작고 가공 속도가 빠른 것을 선택할 필요가 있다. 또 연마 시의 발열에 의한 정반의 변형을 방지하는 의미에서 정반의 온도 관리도 중요한 인자가 된다.

3.1 폴리싱 가공의 조건 설정

(1) 폴리싱용 PAD(연마포)

과거에는 정밀도가 높은 연마 가공을 하는 경우는 피치 정반이 이용되었다. 그러나 최근에는 발포 우레탄제의 연마 PAD에 의한 폴리싱에서도 정밀도가 높은 연마 가공을 할 수 있게 되었다.

PAD는 재질, 경도, 두께, 홈 등의 조건에 따라 선정되지만 파장판처럼 평면 정밀도를 요하는 경우 경질의 PAD를 사용하는 것이 일반적이다. 단 너무 단단하면 마이크로 스크래치가 발생하기 쉬워지고, 마찰 저항이 커지면 파손의 위험이 있다. 일반적으로는 쇼어 D 경도로 20~30정도가 되고 연마 지립이 함유된 PAD를 선정하면 된다.

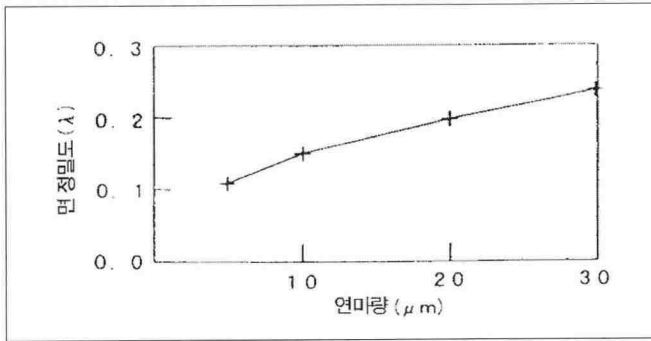


그림 6. 연마량과 면 정밀도의 관계

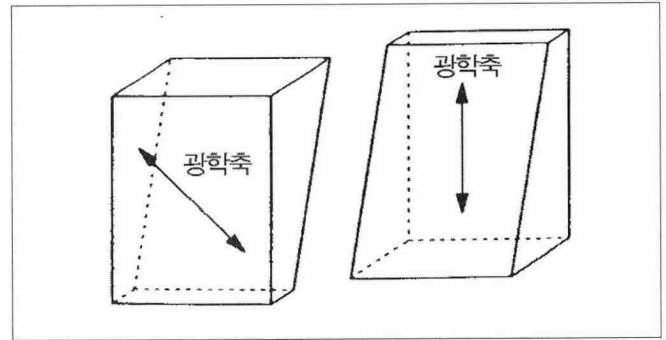


그림 7. LN제 프리즘 형상

(2) 폴리싱 정반의 관리 · 수정 · 회전 조건

래핑 공정에서 고정밀도로 가공된 작업물이라도 폴리싱 정반의 형상이 크게 변형되면 폴리싱 후의 작업물 정밀도는 악화된다. 이 때문에 폴리싱 가공에서도 래핑 가공 시와 같은 정반 관리와 수정이 필요하다. 또 회전 조건에 대해서도 마찬가지로 할 수 있다.

(3) 폴리싱

폴리싱의 연마량이 커지면 그만큼 면 정밀도와 평행도는 악화된다. 특히 연마 PAD를 이용한 폴리싱에서는 작업물의 외주부에 이른바 면 변형이 발생하기 쉽고, 연마량과 면 정밀도 사이에는 그림 6과 같은 상관관계가 보인다. 따라서 전공정의 랩 가공 변질층을 가능한 한 작게 하고, 폴리싱에서의 연마량을 작게 하는 것이 좋다. SiC #3000으로 랩한 경우, 폴리시량은 12 μm 이상 필요하지만 이것을 만족시키는 범위에서 최소화 해야 한다.

폴리싱 공정의 다듬질 정밀도 향상을 위해서는 작업물의 두께 편차를 래핑 단계에서 최대한 작게 하는 것이 중요하다. 또한 작업물을 10⁻⁴mm 단위로 분류하여 폴리싱에 투입하는 것이 바람직하다. 이 때 두께 측정은 주파수로 하고, 측정 정밀도의 재현성을 얻기 위해서는 안정된 온도 환경 하에서 작업해야 한다.

4. 니오브산 리튬제 프리즘의 연마 가공

니오브산 리튬(LiNbO₃, 이하 LN)은 주로 SAW 디바이스용으로 사용되지만 프리즘용으로도 많이 사용되고 있다. 그림 7은 LN을 이용한 프리즘의 간단한 형상을 나타낸 것이다.

LN은 수정에 비하면 벽개성이 강하고, 또 깨지기 쉬운 성질을 갖고 있기 때문에 수정이나 유리와 비교할 때 연마 시 주의가 필요하다. 아래에 LN제 프리즘의 성형 연마 가공 방법에 대해 간단히 설명하겠다.

프리즘용 LN의 연마 가공은 직사각형 모양의 림버드를 소정의 각도를 가진 지그에 붙이고 편면 랩 · 폴리시반으로 성형 연

마하는 방법을 이용한다.

지그에 붙여진 LN은 높이의 편차를 균일하게 하기 위해 평면 연삭반과 다이아몬드 지석 등으로 연삭된다. 연삭량 및 지석의 입도가 부적절하면 랩 이후의 공정에서 흠집이 발생하는 원인이 된다. 다음으로 SiC #3000 정도의 지립으로 래핑한 뒤, SiO₂ 미립자가 들어간 알칼리액으로 메카노케미컬 폴리싱을 한다. 이 때 면 정밀도가 요구되기 때문에 스웨이드 타입의 PAD는 사용할 수 없고, 취성이기 때문에 스크래치가 생기기 쉽다는 특징이 있다.

폴리싱 PAD는 면 정밀도가 중요하고, 쇼어 D 정도로 50 정도의 단단한 것을 선정할 필요가 있다. 또 케미컬 폴리싱을 하기 때문에 지립을 함유하지 않은 PAD를 사용해야 한다.

CeO₂ 지립으로 1차 폴리싱을 한 뒤 물로만 연마를 한 경우라도 사양의 투과율을 만족하는 면 거칠기를 얻는 것은 가능하지만, 완전한 경면을 얻을 수는 없다. 또 생산성도 메카노케미컬 연마보다 떨어진다. 이것은 모스 경도가 수정이 7인데 반해 LN은 5로 비교적 부드러움에도 불구하고 중성의 연마액 속에서는 수화층의 생성 속도가 느리고, 지립에 의한 표면층의 파쇄가 진행되기 힘들기 때문으로 추정된다. 따라서 메카노케미컬 폴리싱이 채용되고 있다.

5. 맺음말

수정제 파장판과 LN제 프리즘의 연마 방법에 대해 설명했는데, 연마 가공에서 높은 면 정밀도를 얻기 위해서는 양면 연마기와 편면 연마기에 상관 없이 래핑과 폴리싱 양쪽의 적정한 조건 설정이 필요하다. 대표적인 요인으로

- ① 정반 관리
- ② 가공량의 평균화 · 적정화
- ③ PAD 선정

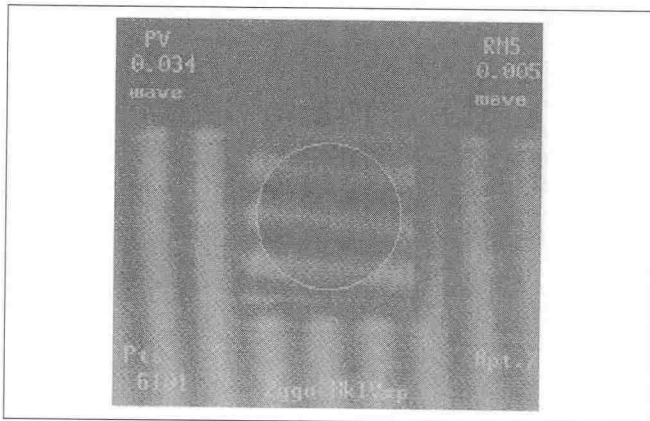


사진8. 파장판의 투과 파면 수차

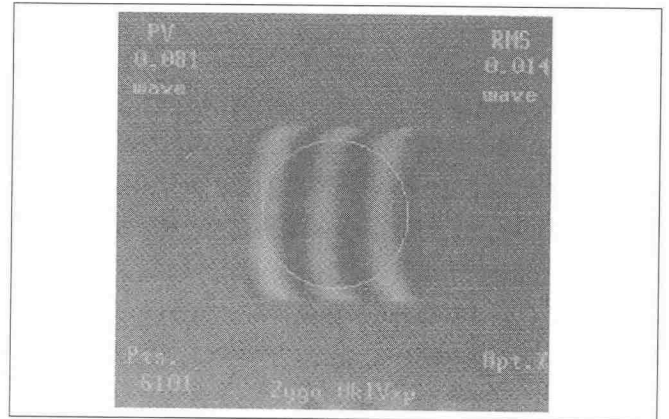


사진9. LN제 프리즘의 투과 파면 수차

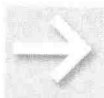
등을 들 수 있다. 이상의 조건에 따라 양산된 파장판, 프리즘의 파면 일레는 사진 8, 9와 같다.

앞으로는 좀더 고품질, 저비용에 대한 요구가 강해지기 때문에 과거의 연마 방법에 얽매이지 않고 고정 지립과 유리(遊離) 지립을 잘 조합한 연마 기술의 향상이 점점 중요해질 것으로 보인다.

[참고문헌]

- 1) 宮本紳司 : 양면 래핑의 고정밀화에 관한 연구 (1992) P1-73
- 2) 河西敏雄 : 고정밀 평면 형상 가공에 관한 연구, 덴쓰 연구소 성과 보고, 제13634호 (1979) P1-268
- 3) 末田哲夫 : 옵트로닉스 기술 활용을 위한 광학 부품의 사용법과 유의점, (옵트로닉스사, 1985) 제1장 P3-10, 제3장 P44-57.
- 4) 전국 수정 진동자 공업 조합 기술위원회편 : 수정 제품의 해설과 응용, (1991) P22-24

Korea Optical Industry Association



www.koia.or.kr 광학세계 클릭

『광학세계』웹진 운영!

그동안 책자로 보시던 『광학세계』를 이제 인터넷상에서 웹진으로 만나보실 수 있습니다.

기존에는 『광학세계』를 구독하기 위해서 우송료 1만 2천원을 납부하셨으나 홈페이지상에서 회원 가입을 통해 간편하게 이용하실 수 있습니다.

KOIA 한국광학기기협회
KOREA OPTICAL INDUSTRY ASSOCIATION

(156-819) 서울시 동작구 사당3동 218 청보빌딩 4F
TEL 02-3481-8931 FAX 02-3481-8669