

포토 다이오드 조정방식을 이용한 광 픽업용 저가 홀로그래프 모듈

정호섭[†] · 경천수

삼성전기 중앙연구소 광모듈LAB

Ⓣ 442-743 경기도 수원시 영통구 매탄3동 314

(2005년 5월 16일 받음, 2005년 8월 5일 수정본 받음)

포토 다이오드(photodiode) 조정 방식을 이용해서, 비전 시스템을 장착한 고가의 정밀 자동 조립조정 장비 없이 홀로그래프 픽업 모듈을 제작하는 새로운 방법을 제안하였다. 저가격화를 위해서 리드 프레임형의 반도체 레이저와 COB(Chip on Board)형의 포토 다이오드를 사용했고, 초점 에러 신호(focus error, FES) 검출방법은 스팟 사이즈 검출법(spot size detection, SSD), 트랙 에러 신호(tracking error, TES) 검출방법은 삼빔법(3 beam method)을 이용했다. 이를 만족하는 픽업 홀로그래프 모듈 광학계를 설계하고, 조립조정 프로세스 수립 및 시스템을 제작하였으며, 조립된 홀로그래프 모듈을 이용하여 CD에서 데이터를 검출하는 실험을 통해 제안된 포토 다이오드 조정방식의 유용함을 입증하였다.

주제어 : Optical pickup head, Holographic optical element, Photodiode

I. 서 론

홀로그래프는 광학계의 소형화, 집적화, 저가격화를 위해 많은 장점을 가진 광학소자로, 픽업에는 1980년대 중반부터 Pencom(사)를 선두로 샤프, 마쯔시다, 필립스등이 연구, 개발, 상품화하였다.^[1-5] 부품의 수를 감소시키거나 집적화, 소형화를 위해 CD, DVD(digital versatile disc), HD-DVD(high definition- digital versatile disc) 등에 홀로그래프 형태의 회절 광학소자가 많이 사용되고 있다.^[6-8] 홀로그래픽 광 픽업은 비교적 구조가 간단하여 높은 신뢰성을 가지며, 또한 새로운 규격에 대응하기 위한 새로운 픽업을 개발하는데 있어서도 우수한 적응성을 가지고 있어서, 여러 픽업 메이커들은 자사 고유의 홀로그래픽 광픽업 헤드를 개발하고 있다. 그런데, 홀로그래픽 광픽업 헤드는 제작하는 과정에서 반도체 레이저 칩과 포토 다이오드 칩의 부착 정확성이 매우 높아야 한다. 즉, 홀로그래픽 광 픽업은 구조가 간단한 반면에 홀로그래프 소자만으로 정렬 오차를 보정할 수 있는 범위가 매우 작다. 각 칩을 부착하기 위해서는 분해능이 높은 비전 시스템이 부착된 초정밀 본딩 장비가 필요하게 되고, 이는 실제 홀로그래프 모듈을 개발하는 과정에 많은 제한적 요소를 가져오게 된다. 따라서, 홀로그래픽 광픽업 헤드를 보다 효율적이고 단순화된 방법으로 제작하기 위한 새로운 방법의 개발은 경쟁력 있는 상품을 만들기 위해서는 매우 중요한 의미를 가진다.

본 연구에서는 홀로그래프 광 픽업을 정확하게 조립하기 위한 새로운 방법으로, 포토 다이오드 칩을 COB(chip on board)기판 위에서 직접 조정하는 방법을 제안하였으며, 저가의 정렬조정기 만으로도 광 픽업 구성에 필요한 부품간 정

렬 정확도를 충분히 얻을 수 있음을 보였다. CD플레이어용 픽업 모듈을 기준으로 홀로그래프 모듈을 설계하였으며, 포토 다이오드를 직접 조정하는 실험을 통하여 저가로 광픽업용 홀로그래프 모듈이 구현될 수 있음을 보였다.

II. 광 픽업 홀로그래프 모듈 설계

홀로그래프 모듈을 사용하는 픽업용 광학계는 그림 1의 개략도에서 보는 바와 같이 대물렌즈와 홀로그래프 모듈로 구성된다. 홀로그래프 모듈은 디스크에서 반사되어 오는 빔을 회절시켜 신호를 검출할 수 있도록 포토 다이오드에서 수광하도록 하는 소자이다. 홀로그래프를 이용하여 포토 다이오드에 빔을 회절시키고 이를 이용하여 광 디스크의 거동을 검출하

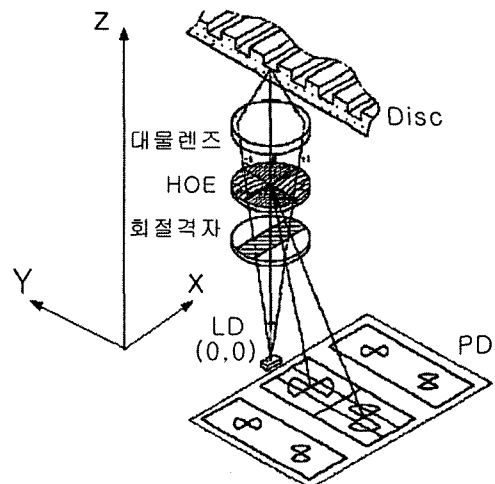


그림 1. 홀로그래프 광픽업 광학계의 구성도.

[†]E-mail: hsjeong@samsung.com

는 것이 홀로그래프 모듈의 기본적인 기능이다. 홀로그래프 패턴을 통하여 디스크로부터 반사된 빔을 회절시켜 레이저로 돌아가지 않고 포토 다이오드에 가져가는 기능과 포토 다이오드의 분할을 통하여 디스크의 거동에 따라 변화하는 초점 및 트랙방향의 에러신호를 검출하는 것이다. 단 대물렌즈의 이동에 둔감한 특성 확보를 위해 평행빔을 만들기 위한 콜리메이트(collimator)를 사용하는 경우도 있지만 CD의 경우 이동특성에 큰 문제가 없기 때문에 여기에서는 생략되었다. 실제 실험에 사용된 반도체 레이저는 재생용 CD 플레이어용으로 흔히 사용되는 출력 광파워는 3 mW이고 발산각은 θ_{\parallel} 는 11.5도, θ_{\perp} 는 35도인 780 nm AlGaAs 레이저를 사용하였다.

기존의 홀로그래프 모듈의 회절소자는 2분할 홀로그래프를 이용하여 사용하였으나, 본 연구에서는 그림 2(a)에서 볼 수 있는 것처럼, 두 개의 A-홀로그래프(HOE-A)과 B-홀로그래프(HOE-B)으로 구성된 4분할 홀로그래프를 사용하였다. 서로 대각선에 위치한 두 HOE가 갖는 회절각을 동일하게 설계함으로써 그림 2(b)에 보는 것처럼 8자 모양의 +1차 회절빔이 포토 다이오드에 오도록 설계하였다. 홀로그래프를 2분할로 나누었을 경우는 부품 조립 등의 오차나 빔의 왜곡 등에 민감해지는 특성이 있으나, 4분할 할 경우 포토 다이오드의 회전에 의한 조정이 가능해지고 레이저의 파장변화에 따라 회절각의 변화로 나타나 포토다이오드의 가로방향 길이만 확보하면 신뢰성을 확보할 수 있는 장점이 있다. 결국 이러한 장점은 초점에러의 편차를 최소화 하는 구조이다.

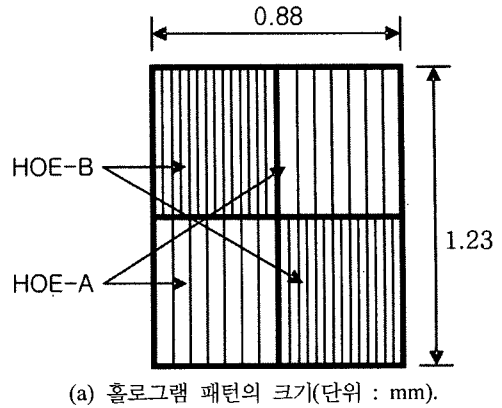
그림 2(b)에서 왼쪽의 빔을 형성하기 위한 홀로그래프를 HOE-A라 하고 오른쪽의 빔을 형성하기 위한 홀로그래프를 HOE-B라 하자. 두 홀로그래프는 그림 2(c)에 보이는 것처럼 다른 위치에서 초점을 맺게 되고 초점 사이 거리(L_{AB})는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$L_{AB} = 2 \times m^2 \times R_{FE} \quad (1)$$

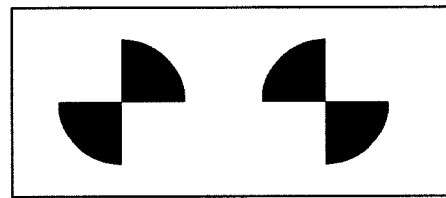
이때, m은 대물렌즈의 횡 배율(실험값 : $m=5.8$)이고, R_{FE} (range of focus error)는 초점에러 범위로 초점 에러 신호의 최대-최소값을 의미한다. R_{FE} 가 10 μm 인 경우 홀로그래프의 두 초점 사이의 거리는 식(1)에 의해 672.8 μm 이고, 포토 다이오드상에 설계된 빔의 반지름은 25 μm 이 된다. Code V를 이용하여 그림 1의 광학계를 최적화하고 위의 조건들을 만족하는 홀로그래프 소자의 위상함수(phase transfer function)를 구하였다. 위상함수는 참조파와 물체파의 광 경로차(optical path difference; OPD)를 계산 다음과 같이 계산하여 계산하였다.

$$OPD(x, y) = [(x - O_x)^2 + (y - O_y)^2 + (z - O_z)^2]^{1/2} - [x^2 + y^2 + (z - R_t)^2]^{1/2} \quad (2)$$

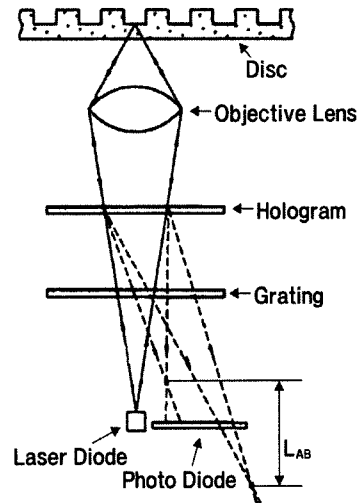
여기서 O_x, O_y, O_z 는 그림 1에서 광축을 기준으로 한 원점을 의미한다. 실제 실험에서는 이 위상함수를 파장으로 나누



(a) 홀로그래프 패턴의 크기(단위 : mm).



(b) PD 상의 빔 패턴.



(c) 홀로그래프 A/B의 초점.

그림 2. 홀로그래프 광학소자의 크기와 회절된 빔의 패턴.

고 그 값이 바이어스 값보다 크면 1, 작으면 0으로 처리하여 2진(binary) 형태의 홀로그래프를 설계하여 제작하였다.

기준파와 물체파가 구면파라면 원하는 위치에 물체파의 초점이 오도록 하는 위상정보를 홀로그래프 면에 구성하는 것이 가능하다. 하지만 실제 광학계에서 완전한 구면파는 아니므로 구면파에서 벗어난 파면수차에 대해서는 비구면 위상함수를 추가하여 최적화를 행한다. 식(2)의 $OPD(x, y)$ 를 x, y 에 대해서 테일러 전개(taylor expansion)을 하고 비구면 위상함수를 합하여 14번째 항까지 표시한 위상함수는 아래와 같다.

$$\phi(x, y) = \frac{2\pi}{\lambda} \left[c_1x + c_2y + c_3x^2 + c_4xy + c_5y^2 + c_6x^3 + c_7x^2y + c_8xy^2 + \dots \right] \quad (3)$$

c_{14} 이상의 항은 실제 홀로그래프 형상에 영향을 거의 주지 못하므로 그 이상의 항을 고려하는 것은 실제적인 의미가 없다. 회절 빔의 회절 방향을 y 축으로 잡으면, x 의 홀수 항 계수들($c_1, c_4, c_6, c_8, \dots$)은 그 값이 10^{-5} 보다 작아져 생략했다. 실제 실험에서 계산된 홀로그래프 계수는 표 1과 같고 홀로그래프 회절효율은 0차 : +1차 : -1차 = 50 : 20 : 20 로 설계되었다.^[9,10] 이때 HOE-A에 의한 회절각은 18.1도이고 HOE-B에 의한 회절각은 21.1도로 설계되었다.

그림 1에서 보면, 디스크에서 정보를 읽고 반사된 빔은 대물렌즈를 통과하면서 수렴이 되고 홀로그래프에 의해 회절된 S자 모양의 빔이 포토 다이오드로 향한다. 이때 홀로그래프는 정보를 가지고 오는 빔을 회절시켜 포토 다이오드로 보내는 역할을 하며, 또한 포커스 에러 신호를 발생시키는 역할을 한다. 광학계의 소형화가 용이하고 검출감도가 높아 많이 사용되는 비접수차법은 반도체 레이저의 파장변동에 따라 회절각이 변화하는 홀로그래프의 특성 때문에 사용이 어렵고, 반도체 레이저로부터 홀로그래프의 회절방향에 대해 각도변화에 민감하지 않는 포커스 신호검출방법이 홀로그래프 광 픽업 모듈에는 적합하다. 표 2는 각 에러검출 방법의 장·단점을 비교하였으며 광학계 소형화가 쉽고 홀로그래프 모듈에 적용이 용이한 스팟 사이즈법을 사용하고자 한다.

초점에러 신호를 검출하기 위해서 그림 3에 보는 것처럼

표 1. 홀로그래프 계수.

HOE-A		HOE-B	
C2	-0.376175399532	C2	-0.426092613775
C3	0.0130541267168	C3	0.0331296942578
C5	0.0265334480581	C5	0.0483330111777
C7	0.00877118298987	C7	0.0073111966991
C9	0.00794472044963	C9	0.00635966842918
C10	-0.0000909752429455	C10	-0.000640761072691
C12	-0.00100000613839	C12	-0.00197831596698
C14	-0.00083968576631	C14	-0.00125753617374

중앙의 포토 다이오드 패턴을 6분할(A, A, B, B, C, D 영역) 하였다. 디스크의 변동에 대해 그림 4에서 보이는 것처럼 좌우의 S자 모양의 빔 사이즈가 변화하게 되는데, 이를 검출하기 위해 스팟 사이즈 법을 이용하고 그림 3의 중앙에 보이는 6분할한 포토 다이오드의 출력값을 아래의 식(4)와 같이 조합하면 초점방향 에러를 검출할 수 있다.

$$FE = (A + C) - (B + D)$$

여기서 FE는 초점방향의 에러이고 A, B, C, D는 각 포토 다이오드의 출력 값이다. 포토 다이오드상에 스팟 광량의 50%가 중앙에 위치하도록 각각의 분할 다이오드의 사이즈를 결정하였다. 홀로그래프에 의해 회절되어 포토 다이오드면 위에 도달하는 빔이 갖는 초점에러 신호 시뮬레이션을 통해 포토 다이오드 패턴을 설계한다. 초점에러 신호의 시뮬레이

표 2. 초점 에러 신호 검출법의 장·단점 비교

FES 측정방법	장 점	단 점
비접수차법	광학계의 소형화가 용이 검출감도가 높다.	PD조정 복잡(4분할) 초점 동적 범위가 작음
spot size 비교법	광학계 소형화가 용이 광학계 단순	검출감도가 작음
knife edge법	정보신호로 error 동시검출 PD조정이 용이(2분할)	광량손실이 크다. 동적 범위가 크면 극성 반전
Double knife edge법	광학계 소형화에 용이	PD조정이 어렵다. 손실이 크다.
Wedge Prism 법	광량 손실이 적다. 감도가 높다.	프리즘이 필요 조정이 복잡
Off-Axis Beam법	광학계 구성이 간단	경사에 강한 고가의 렌즈 필요
Skew Beam법	동적 범위가 넓다.	광학계가 복잡 보조 빔의 초점안정성에 영향 받기 쉽다.
Wobbling법	PD조정이 쉽다. 1개 셀을 갖는 PD사용가능	고주파의 미소진동기가 필요 회로가 복잡
위상차 검출법	광학계 소형화 용이	피트 신호의 공간주파수특성의 영향을 받기 쉬움 동적 범위가 작음 회로가 복잡
critical angle법	검출감도가 높다.	프리즘의 값이 비쌈 평행빔 만들기 위해 CL조정 필요

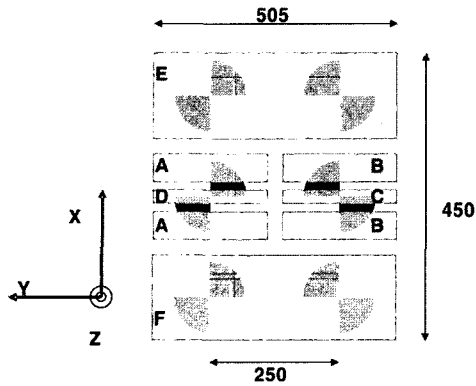
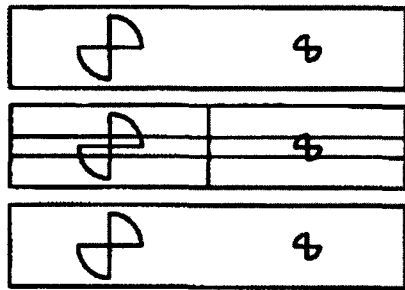
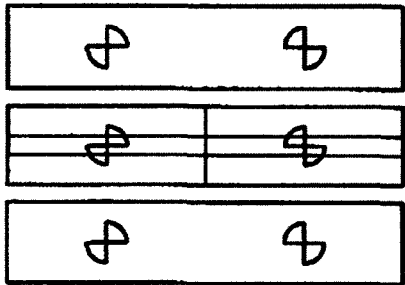


그림 3. 포토 다이오드 패턴(단위 : μm).



(a) +defocus



(b) on focus



(c) -defocus

그림 4. 초점방향의 디스크 변화에 따른 스팟의 변화.

선은 광학설계 프로그램인 Code V에서 초점 오프셋이 발생하지 않도록 반복 시행해서 최적화하였다. 그림 5는 초점에러 시뮬레이션 결과를 보여준다. 스팟 사이즈는 50 μm이고

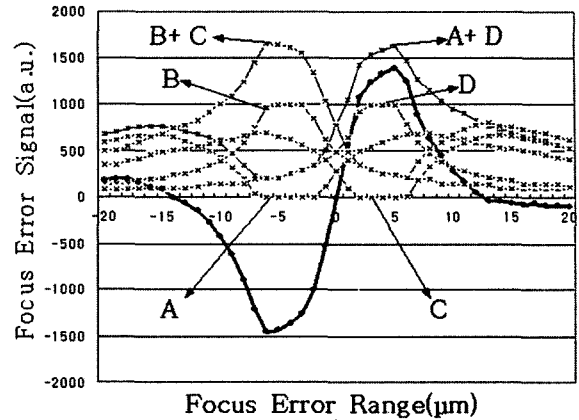


그림 5. 초점에러 시뮬레이션.

최대로 벗어났을 때의 스팟 사이즈는 120 μm이며 R_{FE}는 10 μm이다.

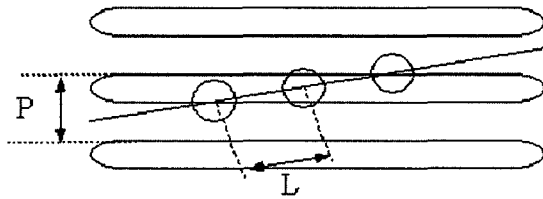
디스크의 트랙방향 운동을 검출하기 위해, 송광계에서 출사된 레이저를 3빔으로 분할하여 트랙에러 신호를 얻을 수 있는 3-빔법을 사용하였는데, 그림 6(a)에서 보는 것처럼 레이저 빔을 0차, ±1차 회절 신호로 만들어 디스크상의 트랙 사이에 위치하도록 설계하였다. 주빔과 부빔 간의 거리 L은 회절격자의 광축 상의 위치 및 격자간격 등에 의해서 결정되는데, 본 실험에서는 회절격자 제작시 공차 등을 고려해서 디스크상에서의 주빔과 부빔 사이의 간격을 19 μm로 결정하였다. 그리고 그림 6(b)에서와 같이 디스크의 트랙간 거리를 P는 CD의 경우 1.6 μm이 되고, L은 19 μm이다. 이때 회절격자 벡터와 트랙간의 오차 각도는 다음과 같다.

$$\sin \theta = \frac{P}{4L},$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{P}{4L} \right) = 1.2 \text{ deg} \quad (5)$$

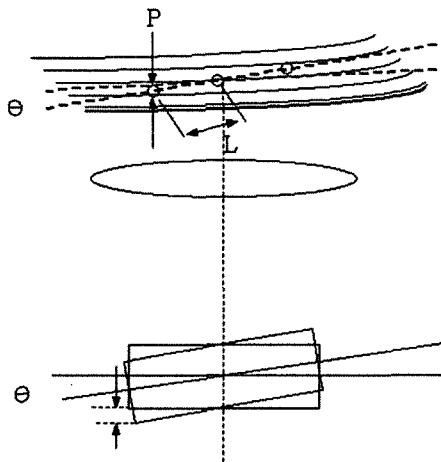
디스크 상에서 주빔과 부빔을 그림 6(b)의 아래 그림처럼 맞추기 위해서는 회절격자를 광축 기준으로 회전조정을 한 후 픽업 베이스에 붙여야 한다. 그러면 위의 식(5)에 의해 1.2도 정도 tilt가 발생하는데 이 때문에 픽업의 높이가 커지는 문제와 본딩시 신뢰성의 문제 때문에, 회절격자 벡터를 1.2도 기울여서 설계한다. 그리고 회절격자의 크기는 홀로그램에서 포토 다이오드로 회절된 빔이 회절격자에 영향을 받지 않도록 설계한다. 회절격자의 회절효율은 0차:±1차:-1차=4:1:1이고, 격자 간격은 15 μm이었다.

위와 같이 초점 및 트랙방향의 에러신호를 검출하기 위해서 포토 다이오드를 설계한 후, 반도체 레이저의 파장변동이나 대물렌즈가 광축의 중심에서 벗어났을 때에도 문제가 없도록 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7을 보면 레이저의 파장변동(770~790 nm)에 따른 포토 다이오드의 y방향 변동(Δ

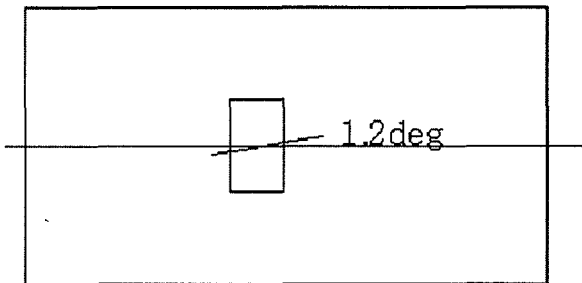


$P=1.6\mu\text{m}$, $L=19\mu\text{m}$

(a) 디스크 상의 track과 3 beams.



(b) 부품의 tilt와 모듈의 기울어짐.

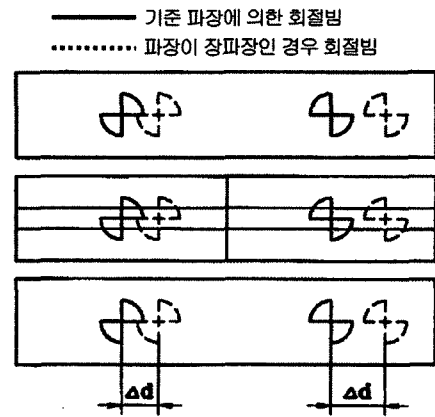


(c) 격자 파 벡터의 기울어짐.

그림 6. 회절격자 설계.

d)은 좌우가 다르며 각각 $\pm 25\mu\text{m}$ 와 $\pm 29\mu\text{m}$ 이다. 파장변동의 원인은 제작한 샘플간의 차이(중심파장 변동)와 온도증가에 따른 변동이다. 또한 대물렌즈는 2축으로 구동되고 있기 때문에 항상 광축에 존재하는 것은 아니며 중앙에서 이동되는 경우도 발생하나 그림 7(b)를 보면 이 경우에는 변동량이 매우 적음을 알 수 있다. 따라서 포토 다이오드의 Y방향 사이즈는 스팟 사이즈와 파장변동에 대한 스팟의 이동량과 조립여유를 고려하여 결정되었다. 그리고 홀로그램 모듈의 저가화를 구현하기 위해서 기존의 세라믹 패키지가 아니라 COB(chip on board)를 사용하였다.

마지막으로 설계된 각 광학부품의 조립 민감도를 확인하기



(a) 파장변동에 따른 회절빔의 이동.



(b) 대물렌즈 위치에 따른 회절빔의 이동.

그림 7. 파장 및 대물렌즈 변화에 따른 스팟의 이동.

위해서 공차분석을 실시하였다. 그림 1과 같이 설계된 각 부품의 설계변수를 제작공차를 주고 각 부품의 조립조정시의 공차를 변위 및 틸트를 주고 설계사양($<0.03\lambda\text{rms}$)를 만족하는 조건을 각 부품의 공차를 할당하였다. 이때 홀로그램 제작공차($x, y \pm 50\mu\text{m}$), 홀로그램 홀더 공차($x, y < \pm 30\mu\text{m}$), 홀로그램 θz 공차($\pm 2\text{deg}$), LD 위치공차($x < \pm 50\mu\text{m}$, $y < \pm 100\mu\text{m}$, $z < \pm 50\mu\text{m}$)와 포토 다이오드 두께 공차($-50\mu\text{m}$), COB 패키지 두께공차($+50\mu\text{m}$)등을 고려하여 공차분석을 하였다. 홀로그램 X방향 조립공차는 $58.3\mu\text{m}$ 이고 홀로그램 Y방향 조립공차도 $58.3\mu\text{m}$ 이다. LD위치공차($50\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$)와 포토 다이오드의 Z방향 공차 $35.3\mu\text{m}$ 를 고려해서 각 설계변수간의 공차와 초점 오프셋 그리고 민감도를 표3에 표시하였다. 민감도가 크다는 것은 표시된 항목의 공차에 민감하다는 의미이다. 결과적으로 LD의 Y, Z축 부착 정밀도가 높게 요구된다. 초점 어긋남을 $1\mu\text{m}/\text{mm}$ 이하를 확보하기 위해서는 LD의 조립공차를 Y축은 약 $20\mu\text{m}$, Z축은 $5\mu\text{m}$ 이하로 관리해야 한다. 또한 홀로그램의 경우도 Y축의 공차가 매우 민감하여 제작 시에 약 $20\mu\text{m}$ 의

표 3. 공차분석.

	Parameter	Tolerance	Focus Offset(μm)	Defocus Factor
1	HOE +x	+58.3 μm	+0.03	+0.51 $\mu\text{m}/\text{mm}$
2	HOE -x	-58.3 μm	-0.01	-0.17 $\mu\text{m}/\text{mm}$
3	HOE +y	+58.3 μm	-0.3	-5.14 $\mu\text{m}/\text{mm}$
4	HOE -y	-58.3 μm	+0.3	+5.14 $\mu\text{m}/\text{mm}$
5	HOE +z	+147 μm	+0.2	+1.36 $\mu\text{m}/\text{mm}$
6	HOE -z	-147 μm	-0.15	-1.02 $\mu\text{m}/\text{mm}$
7	HOE + θz	+2deg	+0.19	+0.095 $\mu\text{m}/\text{deg}$
8	HOE - θz	-2deg	-0.13	-0.065 $\mu\text{m}/\text{deg}$
9	LD +x	+50 μm	0	0
10	LD -x	-50 μm	0	0
11	LD +y	+100 μm	+0.41	+4.1 $\mu\text{m}/\text{mm}$
12	LD -y	-100 μm	-0.55	-5.5 $\mu\text{m}/\text{mm}$
13	LD +z	+50 μm	+0.8	+16 $\mu\text{m}/\text{mm}$
14	LD -z	-50 μm	-0.82	-16.4 $\mu\text{m}/\text{mm}$

공차를 확보해야만 한다.

III. 제작 및 실험 결과

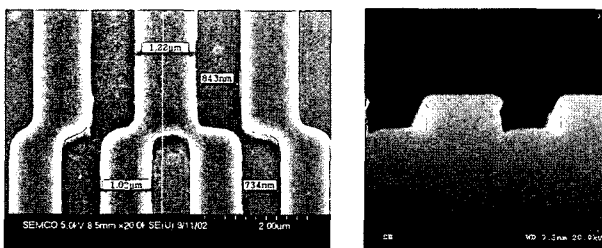
그림 8은 제작된 홀로그램 모듈에 사용되는 광학소자들의 사진이다. 그림 8(a)는 홀로그램중 HOE-A 와 HOE-B 의 경계면(외쪽 사진)과 단면(오른쪽 사진)이다. 홀로그램의 폭, 너비, 두께, 회절격자 투과율은 모두 설계치의 공차범위 내에 들었으며, 홀로그램과 회절격자의 회절효율(-1차: 0차: +1차)은 각각 21.2:49.2:21.8, 1:3.96:1이다. 이 회절효율은 측정 빔의 입사각이나 온도 등의 미소한 변화에도 쉽게 그 세기가 변화하기 때문에 설계치와 정확하게 일치시키기는 현실적으로 쉽지가 않다. 다만 두 경우 모두 그 변화량이 10% 내에

이기 때문에 성능상의 문제는 없을 것으로 판단된다.

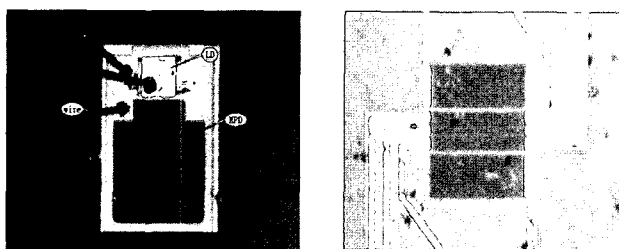
그림 8(b)는 리드 프레임에 접착된 레이저를 보여준다. 그림에서 보는 것처럼 오른쪽 하단에 레이저와 레이저는 냉각을 위해서 접착하는 실리콘 베이스에 붙어 있으며 실리콘 베이스는 레이저의 출력을 모니터링 하는 포토 다이오드로 구성되어 있다. 레이저에서 발생된 열은 용이하게 바닥으로 전달될 수 있도록 레이저와 실리콘을 접착할 때 본딩 재료를 바꾸면서 최적화하였다. 패드와 모니터 다이오드(monitor diode)는 실버 페이스트(silver paste)로 붙였고, 모니터 다이오드와 레이저는 주석(Sn) 코팅 후 가열해서 접착시켰다. 주석 코팅의 경우 실버 페이스트보다 열 전도성이 더 우수하다고 알려져 있다.

그림 8(c)는 그림 3에 제시된 포토 다이오드를 실제로 제작한 결과 사진을 보여준다. 본 연구에 사용된 포토 다이오드는 전류-전압 변환기는 사용하지 않는 형태로 증폭되지 않고 외부로 연결되기 때문에 잡음에 의한 영향을 많이 받을 수 있다. 또한 포토 다이오드는 리드 프레임에서 레이저 옆에 위치해 있고 홀로그램으로부터 회절된 빔이 도달하는 곳이다. 이 홀로그램 모듈은 초점에러 신호 검출 방법으로 스팟 사이즈 방법을 이용하는데, 이 방법에서는 포토 다이오드 상의 빔의 크기($\sim 50 \mu\text{m}$)와 $R_{FE}(\sim 10 \mu\text{m})$ 가 동시에 얻어지는 포토 다이오드의 위치는 송광계의 레이저에서 홀로그램까지의 거리와 비슷한 거리로 제한되어 있다. 그래서 포토 다이오드 조정 타입인 홀로그램 모듈의 포토 다이오드는 포토 다이오드 아래 실리콘 부재를 두어 포토 다이오드 수광면의 높이를 높이게 되었다. 패키지 바닥으로부터 포토 다이오드 수광면 높이의 설계값은 $800 \mu\text{m}$ 이다.

그림 9(a)는 리드 프레임에 접착된 반도체 레이저, COB로 패키징된 포토 다이오드로 구성된 홀로그램 조정 시스템의 사진이다. 홀로그램은 그림 9에서 위 아래 방향(그림 1에서 Z축)으로 조정하면서 초점 오프셋을 조정할 수 있으며 포토 다이오드는 각각의 신호를 보면서 홀로그램을 조정하는 축의 두 수직인 축(그림 1에서 X, Y축)으로 조정할 수 있다.



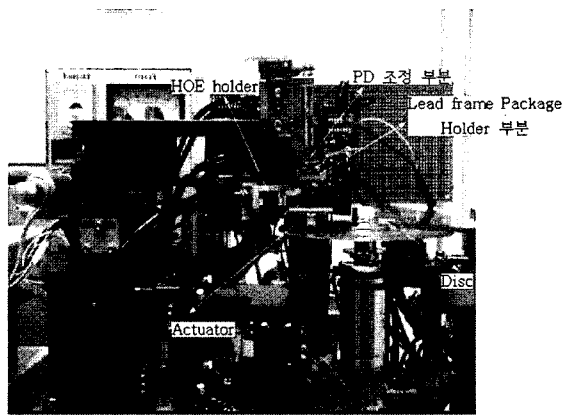
(a) 홀로그램.



(b) 레이저 다이오드와 모니터 PD.

(c) 포토 다이오드.

그림 8. 홀로그램 모듈을 구성하는 광학소자.



(a) 픽업 홀로그램 모듈 조립 조정기.

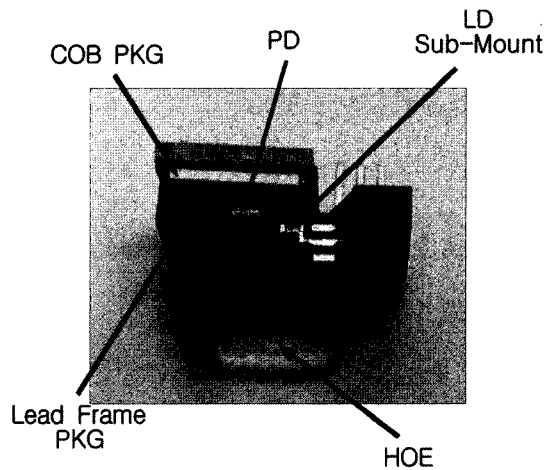
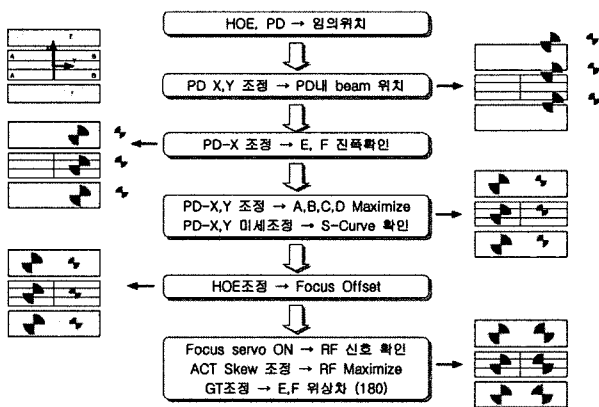


그림 10. 조립된 홀로그램 모듈.



(b) 홀로그램 조립조정 순서.

그림 9. 홀로그램 모듈 조립 조정기.

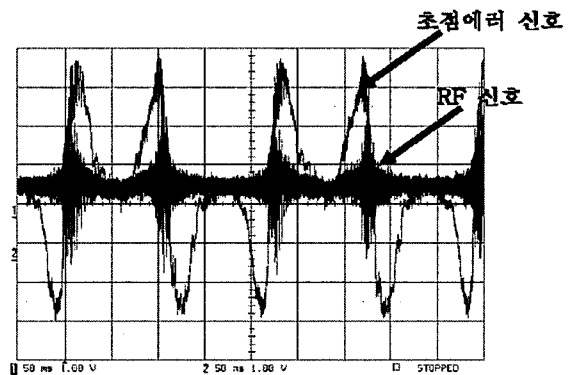
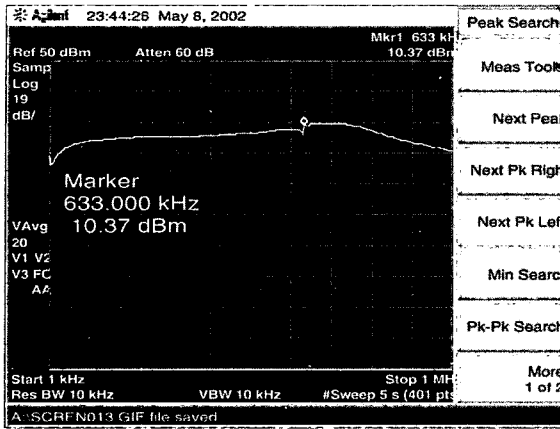


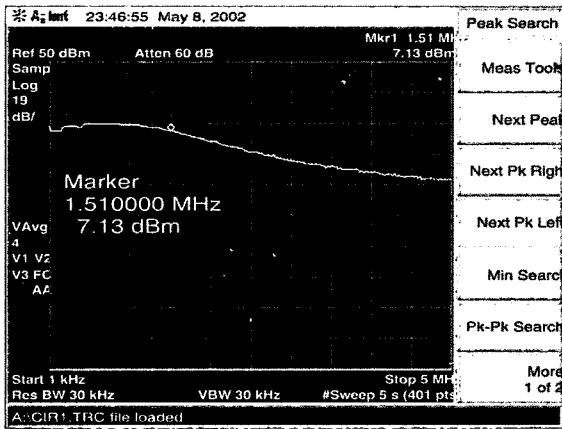
그림 11. 홀로그램 모듈에서 검출된 초점에러 신호.

또한 회절격자는 트랙에러 신호를 보면서 회전방향으로 조정할 수 있으며 대물렌즈가 포함된 액츄에이터도 5축으로 조정할 수 있도록 되어 있다. 그림 9(b)는 조립조정기에 각 부품을 장착하고 모듈로서 조정하는 순서를 보여준다. 가장 먼저 포토 다이오드를 움직이면서 신호가 나오는 초기 위치를 설정하고 포토 다이오드 출력중 위 아래 패턴인 E와 F 신호를 확인하면서 X방향의 위치를 조정한다. 그 다음에 패턴의 중앙부에 위치하는 A, B, C, D의 신호가 최대가 되면서 초점 에러 신호가 나오도록 추가적으로 X/Y방향으로 포토 다이오드를 조정한다. 그리고 홀로그램을 조정하여 초점에러의 오프셋을 조정한다. 이상과 같이 하면 초점방향으로 액츄에이터의 서보가 가능하다. 액츄에이터의 귀환제어(feedback control)를 한 후에 액츄에이터의 틸트를 조정하여 RF패턴을 최대화한다. 마지막으로 회절격자를 회전방향으로 조정하여 E, F 신호의 위상차를 180도로 조정함으로써 홀로그램 모듈로서의 조정이 완료된다. 그림 10은 위와 같은 절차로 조정이 완료된 홀로그램 모듈이다. 그림에서 보는 것처럼 홀로그램과 포토 다이오드를 조립한 후에 UV 본드를 이용하여 고정하였다.

그림 11은 콤팩트 디스크를 이용하여 홀로그램 모듈에서 검출된 신호이다. 신호를 검출하기 위해 반도체 레이저에 걸리는 전류인 Iop(operation current)는 50 mA이고 대물렌즈 통과 후 빛의 세기는 0.56 mW이었다. 그림 11(a)는 에스 커브(S-curve)라고 불리는 초점에러 신호이다. 그림에서 볼 수 있듯이 디스크가 진동함에 따라 포토 다이오드의 신호가 잘 변화하고 있음을 알 수 있다. 초점이 맞았을 때 RF신호가 최대가 되고 초점에서 멀어졌을 때 최소가 되는 것을 볼 수 있다. 그러나 초점에러 신호와 RF신호 모두 잡음이 매우 큰 것을 알 수가 있다. 이것은 앞에서 지적한 것처럼 포토 다이오드에 전류증폭기가 없이 만들어져서 회로에 연결되는 라인에서 많은 잡음이 발생하였다. 그림 12는 신호의 잡음 수준을 알아보기 위해서 회로와 포토 다이오드를 연결해서 스펙트럼을 측정하였다. 결과적으로 연결된 회로의 잡음 수준은 매우 미미하고 포토 다이오드에서 잡음이 발생하는 것을 알 수 있다. 이미 지적한 것처럼 포토 다이오드에 전류 증폭기를 내장한다면 이 문제를 해결 될 것으로 판단된다. 그림 11에서 초점 에러의 수준을 대변하는 두 값을 측정하였다. 초점에러의 레벨인 Spp(peak to peak amplitude of s curve)는



(a) 포토 다이오드와 아날로그 회로의 잡음 스펙트럼.



(b) 아날로그 회로의 잡음 스펙트럼.

그림 12. 신호의 잡음 수준.

6V이고 상하의 밸런스는 1%이다. 광 픽업에서 사용하는 데는 전혀 문제없는 값이다.

그림 13은 그림 11의 초점에러 신호를 이용하여 액츄에이터의 초점방향 제어를 수행한 상태에서 측정된 트랙에러 신호이다. 그림에서 보는 것처럼 트랙에러 신호도 약간의 잡음을 가지고 있으나 상태적으로 매우 깨끗한 신호를 관측할 수 있었다. 트랙에러 레벨인 TEpp(peak to peak amplitude of tracking error)는 1.3V이고 트랙 에러의 오프셋은 0.7%로 매우 낮다. 마지막으로 그림 14는 액츄에이터가 초점방향으로 제어된 상태에서 RF신호로 레벨은 4.2V이고 오프셋 레벨은 1.4%이다. 그림에서 볼 수 있듯이 RF 레벨은 트랙에 근접했을 때 가장 커지고 트랙에 멀리 벗어났을 때 작아지는 전형적인 신호의 특성을 보였다.

이상의 실험을 통하여 초점에러 및 트랙에러 신호를 검출할 수 있었으며 초점에러 신호를 이용하여 초점방향 제어가 실현하였으며 본 연구에서 개발된 홀로그래프 모듈이 CD용 광 픽업에 응용될 수 있음을 보였다.

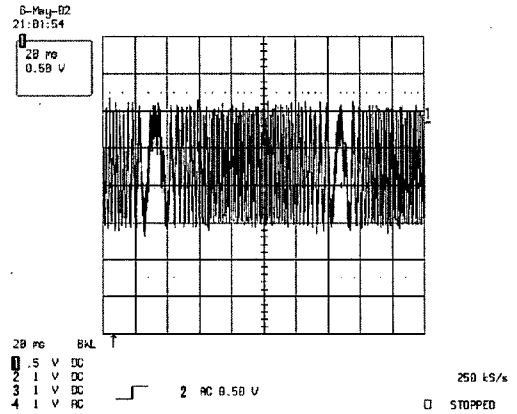


그림 13. 홀로그래프 모듈에서 검출된 트랙에러 신호(초점제어가 구동된 상태).

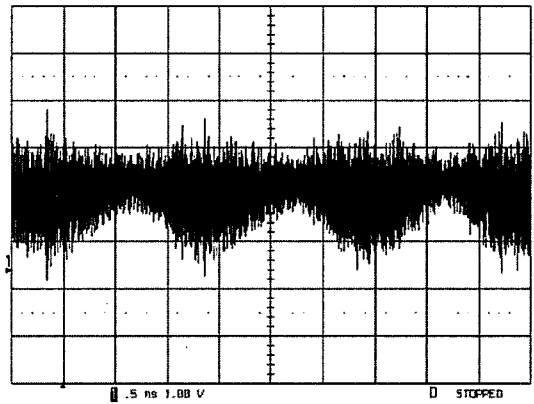


그림 14. 홀로그래프 모듈에서 검출된 RF 신호(초점제어가 구동된 상태).

IV. 결 론

본 논문에서는 포토 다이오드를 조정하는 방식을 도입하여 광 픽업용으로 저가의 홀로그래프 모듈이 실현될 수 있음을 보였다. 이 방법은 비전 시스템등 기존의 정밀한 조립장비를 요구하지 않고 간단하게 홀로그래프 모듈을 간단히 제작할 수 있는 방법이다. 4분할의 홀로그래프와 포토 다이오드 패턴을 설계하여 파장의 변동에 둔감한 광학시스템을 설계 하였으며 공차분석을 통하여 각 부품들의 민감도를 계산하고 가능한 최소한의 조정점을 설정하였다. 또한 신호를 검출하기 위하여 포토 다이오드의 패턴을 설정하였고 홀로그래프의 조립 조정을 위한 조정 프로세스를 확립하였다. 모듈의 저가격화를 위해서 리드 프레임 패키지와 COB 패키지 포토 다이오드를 사용하였으며 홀로그래프, 포토 다이오드, 리드 프레임 LD등의 부품을 조립 조정할 수 있는 조립조정기를 개발하였다. 조립 조정된 홀로그래프 모듈을 콤팩트 디스크 시스템에서 재생실험을 구현하였다.

본 논문의 연구 결과를 바탕으로 정밀한 조립 장비 없이 홀로그래프 모듈을 간단히 구현할 수 있으며 리드 프레임 레이

저와 COB 패키지형 포토 다이오드를 사용해서 재료비가 감소되며 포토 다이오드를 조정하면서 광부품의 조립공차를 크게 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] W. H. Lee, "Holographic optical head for compact disk applications," *Opt. Eng.*, vol. 28, no. 6, pp. 650-653, 1989.
- [2] J. P. H. Benschop, and H. steinhauser, "Design and manufacturing of Holographic optical elements in optical disc systems," *SPIE*, vol. 1983, pp. 670-671, 1993.
- [3] Y. Yoshida, T. Miyake, Y. kurata, and T. Ishikawa, "Three beam CD optical pickup using a holographic optical element," *SPIE*, vol. 1401, pp. 58-65, 1990.
- [4] Y. Komma, S. Kadowaki, Y. Hori and M. Kato, "Holographic optical element for an optical disk head with spot-size detection servo optics," *Appl. Opt.* vol. 29, no. 34, pp. 5127-5130, 1990.
- [5] K. Y. Yang, S. W. Noh, E. J. Kim, T. W. Kim, J.W. Kim and T.K.Yoo, "Holographic Optical head," *SPIE*, vol. 2339, pp. 276-281, 1994.
- [6] Y. Honguh and I. Hoshino, "Focusing-Error Detection Using a Mixed-Aberration-Generating Holographic Optical Element," *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 31, no. 2B, pp. 544-547, 1992.
- [7] S. Yoshida, K. Minami, K. Okada, H. Yamamoto, T. Ueyama, K. Sakai and Y. Kurata, "Optical Pickup Employing a Hologram-Laser-Photodiode Unit," *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 39, no. 2B, pp. 877-882, 2000.
- [8] M. Uchiyama, T. Ebihara, K. Omi, H. Kitano, I. Hoshino and K. Mori, "Development of Optical Pickup for Digital Versatile Disc Using Two-Wavelength-Integrated Laser Diode," *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 39, no. 3B, pp. 1549-1553, 2000.
- [9] W. H. Lee, *Computer-Generated Holograms ; Techniques and Applications*, Progress in Optics XVI(North-Holland physics Publishing, New York, 1978) pp. 152-166.
- [10] W. H. Lee, "Binary synthetic holograms," *Appl. Opt.* vol. 13, no. 7, pp. 1677-1682, 1974.

Low-Cost Hologram Module for Optical Pickup by Adjusting Photodiode Package

Ho-Seop Jeong[†] and Chon Su Kyong

Optical Module LAB, Central R&D Institute, Samsung Electro-mechanics Co., LTD.

[†]E-mail: hsjeong@samsung.com

(Received May 16, 2005, Revised manuscript August 5, 2005)

We proposed a new and cost-effective method for assembling holographic pickup modules without any high resolution vision system. Assembling was accomplished by adjusting photodiode package only, leading to a low cost, holographic pickup module. Focus and tracking error signals were simply determined by comparing spot sizes and by using the 3 beam method, respectively, based on four-sectional holographic optical elements. In experiment, we assembled a hologram module and estimated performance of the proposed method for a holographic pickup module used in compact disc system.

OCIS Codes : 090.2890, 210.4590, 220.2740.