SIL 응용 광 기록계에서 발생하는 위상 및 진폭 Apodization 해석

김완진†, 최현**, 송태선*, 박노철*, 박영필**

Analysis on Phase and Amplitude Apodization in SIL Based Near-Field Recording Optics

Wan-Chin Kim, TaeSun Song, No-Cheol Park, Young-Pil Park

Keywords: Solid immersion lens (SIL, 고체 침지렌즈), Near-field optics(근접장 광학계), Near-field air gap (근접장 간극), Apodization, Gap-induced aberration (간극 유도 수차)

ABSTRACT

In near-field recording (NFR) optics using solid immersion lens (SIL), near-field air gap induces unwanted spherical aberration, defocus and astigmatism. This phenomenon can be explained with the apodization of phase and amplitude between each linearly polarized light. In this paper, we analyzed the effect of phase and amplitude apodization with the fundamental multiple beam interference theory, and we compared resultant diffracted patterns on the image plane for the Si-disk first surface media structure and cover-layer incident media structure.

1. 서론

고체침지렌즈를 이용한 근접장 광학계는 회절한계를 극복하여 초해상/초고밀도 정보저장 특성을 얻을 수 있는 장점으로 인하여 최근에 이에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다. 근접장 광학계는 통상 사용하는 광원의 파장 크기의 1/2 이하 영역에서 발생하는 근접장 광을 이용하여 회절한계를 극복하는 광학적 특성을 얻게 되는데, 많은 연구를 통하여 대략 100nm 이하의 근접장 간극을 유지할 때까지 선형적인 근접장 간극 신호를 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다.[1] 그러나 이러한 100nm 이하의 근접장 간극에서 근접장 간극이 커짐에 따라, 단순히 미디어 면으로의 근접장 광 투과량만 감소하는 것이 아니라 각 선형편광 성분의 위상 및 진폭 지연이 다르게 되어 이미지 면 상에 회절된 스폿이 열화되며 이로 인해 부수적인 구면수차, 디포커스, 비점수차 등이 발생하게 된다.[1] 따라서 본 논문에서는, 근접장 간극 변화에 따른 각 선형편광 성분의 위상지연과 진폭 apodization 에 대해 논의 하였고, 이러한 위상 및 진폭의 apodization 에 따른 회절된 이미지의 변화와 영향을 고찰하였다.

† 연세대학교 정보저장공학과
E-mail : wckim97@empal.com
TEL : (02)2123-4677 FAX : (02)365-8460
* 연세대학교 정보저장공학과
** 연세대학교 기계공학과

2. SIL 바닥면에서의 평면파의 상호작용

고체침지렌즈를 통하여 진행하는 입사광은 Fig. 1 과 같이 균질 평면파와 비균질 평면파로 나눌 수 있다. 균질 평면파는 SIL 바닥면으로 입사하는 광의 입사각이 임계각을 넘지 않는 파동을 나타내고, 임계각 이상의 입사각을 갖는 파동은 비균질 평면파로서 근접장 광 투과를 유발하는 파동으로 정의 할 수 있다.

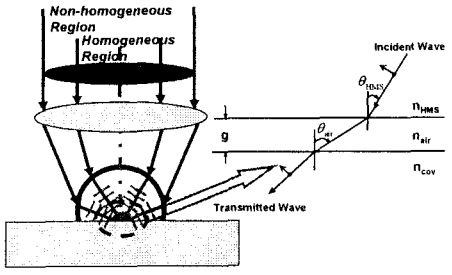


Fig. 1 General configuration of NFR optics and 3-layer multiple beam interference model

이러한 비균질 평면파의 전파영역에서는 프레넬의

반사 및 투과 계수 값을 갖는 균질한 SIL-미디어 경계면 사이에서 다중 광 간섭현상에 의해 근접장을 형성하는 공기 층의 간극에 따라 위상과 진폭이 초기 편광상태에서 변화됨을 알 수 있다. 따라서 이 영역에서는 SIL 바닥면으로 입사하는 각도에 따라 위상과 진폭이 다르게 정의 되므로 특정한 모든 입체각에 대하여 각각 다른 위상과 진폭을 갖는 평면파의 전파로 가정해야 한다. SIL-미디어 경계면 사이에서 다중 광 간섭을 고려한 총 투과도는 TM 및 TE 파에 대하여 식 (1)과 같이 정의되며 β 항은 근접장 간극의 크기에 의한 위상 변화를 나타내게 된다. 여기서 $t_{i/j}$ 와 $r_{i/j}$ 는 각각 i 에서 j 번째 매질로 입사하는 경우의 투과도와 반사도를 나타낸다.

$$t_{TM,TE} = \frac{t_{HMS/air}\, t_{air/cov} \exp(i\beta)}{1 + r_{HMS/air}\, r_{air/cov} \exp(2i\beta)}, \quad (1)$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_{air}\, g \cos\theta_{air}\,, \quad (2)$$

Chipman 과 Jo 의 연구에 따르면 TM 및 TE 편광성분의 Apodization 에 따른 대칭수차와 비대칭수차는 식 (3)과 같이 *C0* 벡터와 *C1* 벡터로 표현이 가능하다.[2-3]

$$C_0 = \frac{t_{TM} + t_{TE}}{2}, \quad C_1 = \frac{t_{TM} - t_{TE}}{2}, \quad (3)$$

Figure 2 에 실리콘을 미디어 1 면으로 사용하여 1.4 의 개구수를 갖는 표면 근접장 기록 광학계와 폴리카보네이트를 cover-layer 로 사용하여 1.4 의 개구수를 갖는 근접장 기록 광학계의 *C0* 벡터와 *C1* 벡터 특성을 나타내었다.

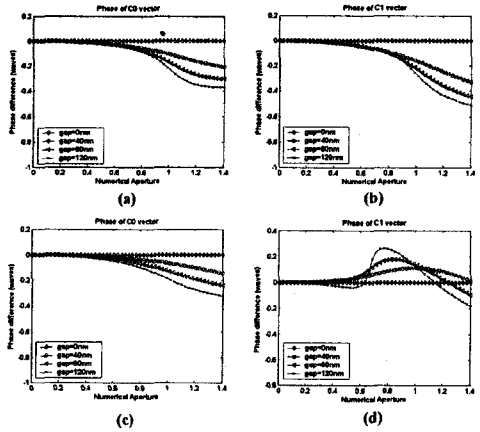


Fig. 2 Phase difference profiles of C0 and C1 vectors
(a)~(b) NFR optics using Si as the 1st surface
(c)~(d) NFR optics using PC as the cover-layer

3. 근접장 간극에 대한 벡터 필드 해석

Figure 3 에 대물렌즈와 SIL 로 구성된 근접장 광기록 광학계에 대한 벡터 필드 해석 모델을 제시하였다.

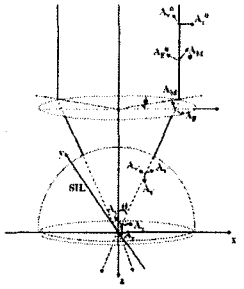


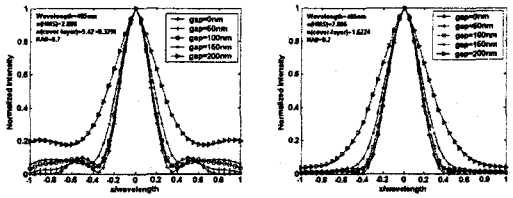
Fig. 3 Definition of electric–field coordinates

전기장의 TM 및 TE 성분을 고려한 각 입체각에 대한 진폭은 식 (4)와 같이 정의할 수 있으며, 상면에서의 x 방향 에너지 분포는 식 (5)와 같이 정의 할 수 있다.[4]

$$A_x(\theta,\phi) = \frac{1}{2}\left[\left(t_{TE} + t_{TM}\cos\theta\right) - \left(t_{TE} - t_{TM}\cos\theta\right)\cos 2\phi\right] A_x^0 \cos^{1/2}\theta\,, \quad (4)$$

$$E_x(x_p, y_p, z_p) = -\frac{i}{\lambda} \int_0^{\sin^{-1}\left(\frac{NA}{n_{HMS}}\right)} \int_0^{2\pi} A_x(\theta,\phi)\cdot\sin\theta \exp\left(i\left(\vec{k}\cdot\vec{r}\right)\right) d\phi\, d\theta. \quad (5)$$

Figure 4 에 위에서 언급한 두 광학계 모델에 대한 빔 프로파일을 나타냈었다.



(a) (b)

Fig. 4 Diffracted beam profiles
(a) NFR optics using Si as the 1st surface
(b) NFR optics using PC as the cover-layer

4. 결론

본 논문에서는 Si 을 미디어 제 1 면으로 사용하는 NFR 광학계와 PC 를 cover-layer 로 갖는 광학계에 대하여 근접장 간극에 따른 추가적인 수차발생 특성에 대하여 비교하여 보았다. PC 를 cover-layer 로 갖는 NFR 광학계의 경우 Si 을 제 1 면으로 사용하는 광학계에 비하여 굴절율의 차가 비교적 작아서 간극유도수차가 적게 발생함을 알 수 있었다.

References

[1] M. Mansuripur: Appl.Opt.30, p.3154 (1991)
[2] R. A. Chipman: Ph.D Dissertation, Univ. of Arizona, Tuscon (1987)
[3] J. Joshua et al.,: Opt. Eng.41(8), p.1866 (2002)
[4] I. Ichimura et al.,:Appl. Opt. 36(19), p. 4339 (1997).