

## Shaded apodizer가 광학 디스크 시스템의 재생 신호에 미치는 영향

박성종

순천청암대학 안경광학과

심상현

정인대학 안경광학과

정창섭

전남대학교 자연과학대학 물리학과

(1999년 9월 29일 받음, 1999년 11월 23일 수정본 받음)

본 연구에서는 shaded apodizer가 광학 디스크 시스템의 재생 신호에 미치는 영향을 조사하기 위하여 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는 shaded apodizer와 진폭이 단조 증가하는 shaded apodizer를 스칼라 회절 이론을 사용하여 고려하였다. 또한 bump 형태 변화에 따른 재생 신호의 변화를 조사하기 위하여, 원통형, 준원추형, 그리고 원추형 bump를 고려하였으며, 이 때 bump의 높이는  $\lambda/4$ 로서, 위상 높이가  $\pi$ 가 되도록 하였다. 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는 shaded apodizer의 경우에는 bump 반경이 증가함에 따라 재생 신호가 증가하여 극대값을 가진 후 감소하는 경향이 나타났으며, 진폭이 단조 증가하는 shaded apodizer의 경우에는 bump 반경이 작은 영역과 큰 영역에서 극대값을 갖는 특성을 나타냈다. 또한 구면수차를  $0.5\lambda$  포함하는 광학 디스크 시스템의 경우에 진폭이 단조 감소하는 shaded apodizer의 최대 재생 신호가 apodizer를 사용하지 않은 경우의 최대 재생 신호보다 크게 나타났다.

### I. 서 론

최근에는 소형, 경량화된 광학계와 고속 통신 시스템의 발달로 동화상 정보와 같은 대용량의 정보를 저장할 수 있는 고밀도 광학 디스크 시스템의 개발에 대한 연구가 산업체를 비롯한 각 연구소에서 활발하게 수행되고 있다.

이러한 연구로 70년대 말에 Hopkins는<sup>[1]</sup> 스칼라 회절 이론 (scalar diffraction theory)을 적용하여 Philips 광학 비디오 디스크의 재생 신호에 대한 연구를 수행하였으며, 80년대에는 Nagashima가<sup>[2]</sup> 광학 디스크 상의 정보를 저장하는 bump(pit)의 형태에 따른 재생 신호의 변화에 대한 연구로 V형 groove를 갖고 있는 광학 디스크 시스템에 대한 연구를 수행하였다. 90년대에는 Philips, SONY, Toshiba 등의 산업체 연구소를 중심으로 고밀도 광학 디스크 시스템 개발을 위한 연구가 활발하게 수행되고 있으며, 국내에서도 삼성과 LG 등의 산업체 연구소를 중심으로 진폭 변조 형태인 환형 차폐 방식과<sup>[3]</sup> 액정 셔터 방식<sup>[4]</sup> 등을 채용한 고밀도 광학 디스크 시스템 개발을 위한 연구가 활발하게 수행되고 있다.

이러한 대용량을 저장할 수 있는 고밀도 광학 디스크 시스템에서는 정보가 기록/재생되는 광학 디스크 면상의 bump/pit의 크기가 매우 작기 때문에 광학 디스크 시스템으로부터 정확한 재생 신호를 읽기 위해서는 광학 디스크 면상에 맺는 회절광의 중심 spot의 크기도 작아져야 한다. 이러한 중심 spot의 크기를 줄이기 위한 연구는 현재 개구수를 크게 하는 방법,<sup>[5,6]</sup> 입사광의 파장을 줄이는 방법<sup>[7,8]</sup> 그리고 apodizer를

사용한 방법<sup>[9-12]</sup> 등이 사용되고 있으며, 본 연구실에서는 apodizer가 사용된 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화에 대한 연구를 수행하고 있다.<sup>[13-18]</sup>

본 논문에서는 광학 디스크 시스템에 shaded apodizer가 사용된 경우에 bump의 반경과 형태 변화 그리고 구면수차에 따른 재생 신호의 변화와 광학 디스크 면상의 회절광(Point Spread Function)과의 관계를 연구하였다.

### II. 이 론

#### 2.1. 재생 신호와 bump 형태

광학 디스크 시스템에서 입사광은 무축화된 대물렌즈를 통해 bump가 연속적으로 배열되어 있는 광학 디스크 면상에 회절상을 맺게 되며, 이 때 광학 디스크 면상의 맺는 회절 상의 강도 분포를 Hopkins 환산 극좌표계를 사용하여 표현하면 다음과 같다.<sup>[13]</sup>

$$I(p, \psi) = \frac{1}{I_0} \left| \int_0^{2\pi} \int_0^1 f(r, \phi) \exp[2\pi i p r \cos(\phi - \psi)] r dr d\phi \right|^2 \quad (1)$$

여기서  $(r, \phi)$ 와  $(p, \psi)$ 는 각각 입사동과 광학 디스크 면상의 환산 극좌표를 나타내며,  $I_0$ 는 무수차 광학 디스크 시스템의 광학 디스크 면상의 상점( $p = \psi = 0$ )에서의 강도 분포를 나타낸다. 또한  $f(r, \phi)$ 는 동함수이다.

광학 디스크 면상에 맺은 회절광은 다시 반사되어 무축화된 대물렌즈를 통과한 후 검출기에 신호를 주게된다. 이 때 검출

되는 재생 신호는

$$S = 1 - \frac{E}{E_0} = 1 - \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^1 I(r', \phi) r' dr' d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^1 I_0(r', \phi) r' dr' d\phi} \quad (2)$$

으로, 광학 디스크 면상에 bump가 없을 때 반사되어 되돌아 온 광량( $E_0$ )과 bump가 있을 때 반사 회절되어 되돌아 온 광량( $E$ )의 상대적 감량으로 표현된다. 이 때 강도는

$$I' = |f'(r', \phi)|^2 \quad (3)$$

으로 표현되며,  $f'$ 은 광학 디스크 면에서 반사되어 되돌아온 광의 복소 진폭으로

$$f'(r', \phi) = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \int_0^\infty f(r, \phi) \exp[i\Phi(p, \psi)] \times \exp\{2\pi i [pr \cos(\phi - \psi) - p' r' \cos(\psi - \phi')]\} \times r p dr d\phi dp d\psi \quad (4)$$

로 표현된다. 여기서  $(r', \phi')$ 은 광학 디스크 면에서 반사되어 되돌아온 광의 파면에서의 좌표를 나타내며,  $\Phi$ 는 광학 디스크 면에서 기하학적 높이  $H$ 를 갖는 bump에 의해서 발생하는 위상 높이로 다음과 같다.

$$\Phi = \frac{4\pi n H}{\lambda} \quad (5)$$

여기서  $\lambda$ 는 입사광의 파장이며,  $n$ 은 광학 디스크를 이루는 물질의 굴절률이다.

본 논문에서 원형 대칭성을 갖는 동함수와 bump를 고려하였으며, 이 때 광학 디스크 면에서 반사되어 되돌아온 광의 복소 진폭은

$$f'(r') = f(r') - (2\pi)^2 \int_0^{b_0} \int_0^1 (1 - \exp[i\Phi(p)]) f(r) J_0(2\pi p r) J_0(2\pi p r') r p dr dp \quad (6)$$

으로 표현되며, 여기서  $\Phi$ 는 bump의 위상 높이로 bump의 형태에 따라

$$\Phi(p) = \begin{cases} \Phi_0 & 0 \leq p \leq (b_0 - \Delta b_0) \\ \Phi_0 \sin^2 \left[ \pi \frac{(b_0 - p)}{2\Delta b_0} \right] & (b_0 - \Delta b_0) \leq p \leq b_0 \\ 0 & p > b_0 \end{cases} \quad (7)$$

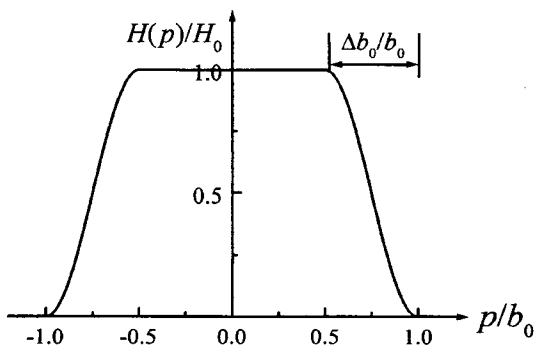


그림 1. Bump의 형태.

으로 표현된다. 여기서  $b_0$ 는 bump의 환산 반경이며,  $\Delta b_0$ 는 변형된 bump 영역을 나타낸다. 그림 1은 bump의 단면을 나타내며,  $\Delta b_0/b_0 = 0$ 이면 원통형 bump,  $\Delta b_0/b_0 = 0.5$ 이면 준원추형 bump 그리고  $\Delta b_0/b_0 = 1$ 이면 원추형 bump를 나타낸다. 또한 본 논문에서는 bump 중앙에서 높이( $nH_0$ )는  $\lambda/4$ 로 위상 높이는  $\Phi_0 = \pi$ 인 경우를 사용하였다.

### 2.2. Shaded Apodizer와 동함수

본 논문에서는 shaded apodizer가 광학 디스크 시스템의 재생 신호에 미치는 영향을 조사하기 위하여 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는 shaded apodizer와 단조 증가하는 shaded apodizer를 고려하였으며, 이 때 진폭이 단조 감소하는 shaded apodizer의 동함수는

$$f_s = \begin{cases} r^2 \exp[2\pi i W] & 0 \leq r \leq 1 \\ 0 & 1 < r \end{cases} \quad (8)$$

으로 표현된다. 또한 진폭이 단조 증가하는 shaded apodizer의 동함수는

$$f_H = \begin{cases} r^2 \exp[2\pi i W] & 0 \leq r \leq 1 \\ 0 & 1 < r \end{cases} \quad (9)$$

으로 표현된다. 그림 2에서는 무수차 광학 디스크 시스템의 경우에 각각의 동함수를 나타내고 있으며,  $f_0$ 는 균일한 진폭을 갖는 동함수를 나타내고 있다.

광학 디스크 시스템에 shaded apodizer로 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는  $f_s$ 를 사용한 경우에 회전 대칭성을 갖는 변형된 bump가 있는 광학 디스크 면에서 반사되어 되돌아온 회절광의 복소 진폭은 식 (7)과 (8)을 식 (6)에 대입하면

$$f'(r') = (1 - r'^2) \exp[2\pi i W(r')] - (2\pi)^2 [1 - \exp(i\Phi_0)] \int_0^{b_0 - \Delta b_0} J_0(2\pi p r') p \times \int_0^1 (1 - r^2) \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi p r) r dr dp - (2\pi)^2 \int_{b_0 - \Delta b_0}^{b_0} \left[ 1 - \exp \left( i\Phi_0 \sin^2 \left[ \pi \frac{(b_0 - p)}{2\Delta b_0} \right] \right) \right] J_0(2\pi p r') p$$

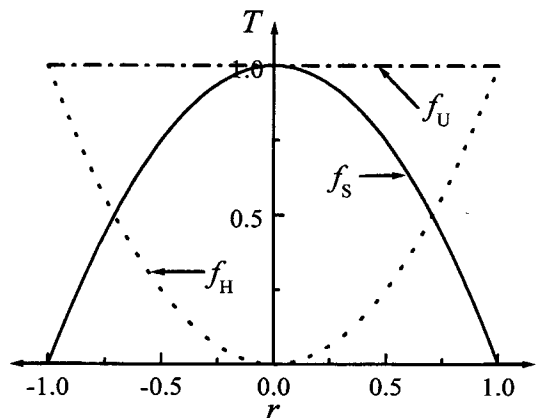


그림 2. Shaded apodizer의 동함수.

$$\times \int_0^1 (1-r^2) \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \quad (10)$$

로 표현되며, 또한 진폭이 단조 증가하는  $f_H$ 을 사용한 경우에 회절광의 복소 진폭은 식 (7)과 (9)를 식 (6)에 대입하면

$$\begin{aligned} f'(r') &= r'^2 \exp[2\pi i W(r')] \\ &- (2\pi)^2 [1 - \exp(i\Phi_0)] \int_0^{b_0 - \Delta b_0} J_0(2\pi pr') p \\ &\int_0^1 r^2 \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \\ &- (2\pi)^2 \int_{b_0 - \Delta b_0}^{b_0} \left[ 1 - \exp\left( i\Phi_0 \sin^2 \left[ \pi \frac{(b_0 - p)}{2\Delta b_0} \right] \right) \right] J_0(2\pi pr') p \\ &\times \int_0^1 r^2 \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \quad (11) \end{aligned}$$

로 표현된다. 균일한 진폭을 갖는  $f_U$ 인 경우에 회절광의 복소 진폭은

$$\begin{aligned} f'(r') &= \exp[2\pi i W(r')] \\ &- (2\pi)^2 [1 - \exp(i\Phi_0)] \int_0^{b_0 - \Delta b_0} J_0(2\pi pr') p \\ &\int_0^1 \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \\ &- (2\pi)^2 \int_{b_0 - \Delta b_0}^{b_0} \left[ 1 - \exp\left( i\Phi_0 \sin^2 \left[ \pi \frac{(b_0 - p)}{2\Delta b_0} \right] \right) \right] J_0(2\pi pr') p \\ &\times \int_0^1 \exp[2\pi i W(r)] J_0(2\pi pr) r dr dp \quad (12) \end{aligned}$$

으로 표현된다. Shaded apodizer가 사용된 광학 디스크 시스템의 재생 신호는 광학 디스크 면상에서 반사되어 되돌아 온 광의 복소 진폭을 식 (2)와 (3)에 대입하면 계산할 수 있다.

### III. 수치결과

그림 3은 bump의 반경과 형태 변화에 따른 무수차( $W=0$ ) 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화와 광학 디스크 면상에서의 강도 변화를 나타내고 있다. 여기서 (a)는 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는 경우( $f_S$ )를 (b)는 진폭이 단조 증가하는 경우( $f_H$ )를 그리고 (c)는 동 전체에서 균일한 진폭을 갖는 경우( $f_U$ )를 나타낸다.

Bump 반경의 증가에 따른 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화를 살펴보면  $f_S$ 와  $f_U$ 의 경우에는 bump 반경이 증가함에 따라 재생 신호가 증가하여 극대값을 가진 후 감소하는 경향이 나타났으며,  $f_H$ 의 경우에는 bump 반경이 증가함에 따라 재생 신호는 증가하여 극대값을 가진 후 감소하며, bump 반경이 큰 영역에서 다시 극대값을 갖는 특성을 나타내고 있다.

이러한 결과는  $f_S$ ,  $f_H$  그리고  $f_U$ 의 경우에 bump가 없을 때는 광학 디스크 면이 평면 거울과 같이 작용하여 식 (2)에 의해서 재생 신호를 발생하지 못하게 되며, bump 반경이 점점 커짐에 따라 bump에서 반사된 회절광과 bump가 없는 디스크 면상에서 반사된 회절광 사이에 위상차에 의한 상쇄 간섭이 발생하여 재생 신호는 점점 커지게 됨을 그림 3에서 알 수 있다. Bump 반경이 0.5이상으로 커지게 되면  $f_S$ 와  $f_U$ 의

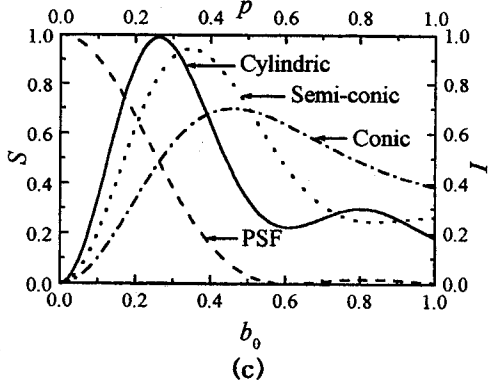
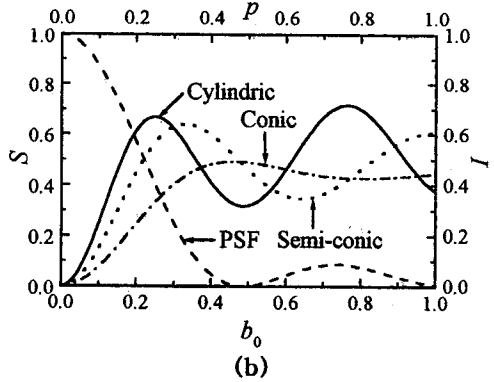
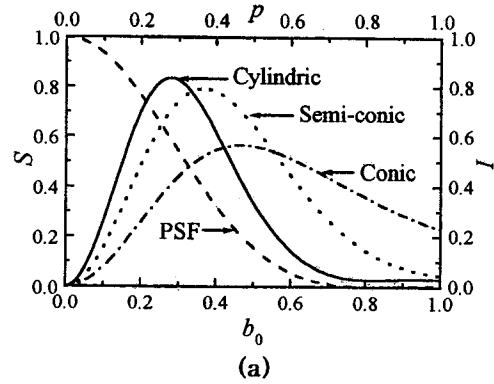


그림 3. 무수차 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화와 광학 디스크 면상의 회절광 분포. (a)  $f_S$ 인 경우, (b)  $f_H$ 인 경우, (c)  $f_U$ 인 경우.

경우에 대부분의 회절광이 동일 위상을 갖는 bump에서 반사되기 때문에 재생 신호는 매우 작아지게 됨을 그림 3-(a), (c)로부터 알 수 있다. 그러나  $f_H$ 의 경우에는 재생 신호가 극소치를 나타내는 bump 반경이 0.5인 근처의 PSF를 살펴보면 bump 면상에 맺는 회절광과 bump 밖의 광학 디스크 면상에 맺는 강도가 큰 sidelobe는 동일한 위상을 갖기 때문에 반사되어 되돌아 간 후 서로 보강 간섭되어 광량이 증가하며, 식 (2)에 의해서 재생 신호는 감소하게 된다. 또한 bump 반경이 0.5이상으로 점점 커짐에 따라 강도가 큰 sidelobe가 bump 면상에 맺기 시작하여 위상차에 의한 상쇄 간섭이 증가하여 재생 신호는 증가하게 됨을 그림 3-(b)로부터 알 수 있다.

Bump 형태의 변화에 따른 재생 신호의 변화를 살펴보면 원통형 bump에서 원추형 bump로 변형 정도가 증가함에 따라

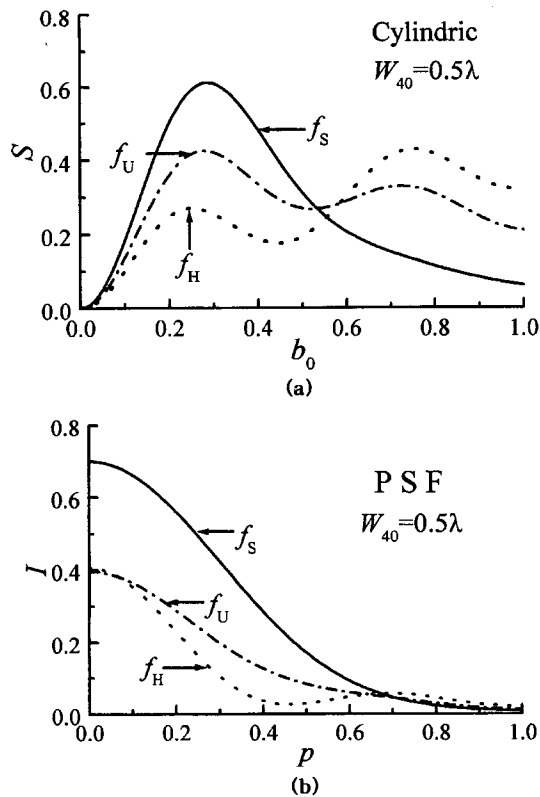


그림 4. 구면수차가 0.5λ 포함된 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화와 광학 디스크 면상의 회절광 분포. (a) 재생 신호 변화, (b) 회절광 분포.

최대 재생 신호가 감소하였으며, bump 반경이 큰 영역에서 f<sub>S</sub>와 f<sub>U</sub>의 경우에는 bump 형태의 변화가 커질수록 재생 신호가 증가하여 bump 형태의 변화가 가장 큰 원추형 bump에서 원통형 bump보다 더 큰 재생 신호를 나타내고 있으나, f<sub>H</sub>의 경우에는 bump 형태의 변화가 커질수록 점점 재생 신호가 작아졌다.

이러한 결과는 f<sub>S</sub>와 f<sub>U</sub>의 경우에 bump 반경이 큰 영역에서는 위상차에 의한 상쇄 간섭보다는 bump 형태에 의한 광량의 감소가 크기 때문에 bump 형태 변화가 가장 큰 원추형 bump에서 재생 신호 크기를 알 수 있으며, f<sub>H</sub>의 경우에 중심 spot에 의한 회절광과 강도가 큰 sidelobe에 의한 회절광 사이의 위상차에 의한 상쇄 간섭이 bump 형태 변화에 의한 광량의 감소보다 크기 때문에 원통형 bump에서 더 큰 재생 신호를 나타냄을 그림 3으로부터 알 수 있다.

그림 4는 광학 디스크 시스템에 포함된 구면수차가 0.5λ인 경우에 bump의 반경에 따른 광학 디스크 시스템의 재생 신호 변화와 광학 디스크 면상에서의 강도 변화(PSF)를 나타내고 있다.

광학 디스크 시스템에 포함된 구면수차량이 0.5λ인 경우에 최대 재생 신호는 무수차 광학 디스크 시스템의 최대 재생 신호보다 감소하였으며, 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는 경우(f<sub>S</sub>)의 최대 재생 신호는 apodizer가 없는 경우(f<sub>U</sub>)의 최대 재생 신호보다 크게 나타났다. 또한 bump 반경이 큰 영역에서는 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭

이 단조 증가하는 경우(f<sub>H</sub>)의 재생 신호가 apodizer가 없는 경우(f<sub>U</sub>)의 재생 신호보다 크게 나타났다.

이러한 결과는 광학 디스크 시스템에 포함된 구면수차량이 증가할수록 광학 디스크 면에 맺는 최대 강도는 낮아지며 중심 spot의 크기는 증가하여 복소 진폭이 넓게 분포하기 때문에, bump 밖의 광학 디스크 면에서 반사되어 되돌아간 회절광을 위상차에 의해서 상쇄시키는 bump 면에서 반사되는 광량이 구면수차량이 증가할수록 감소하여 재생 신호는 작아짐을 그림 4로부터 알 수 있다. 또한 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는 경우(f<sub>S</sub>)에 구면수차의 영향이 큰 동의 가장자리 영역에서 광량이 상대적으로 작아져 구면수차에 대한 영향이 적기 때문에 apodizer가 없는 경우(f<sub>U</sub>)보다 최대 강도 값과 최대 재생 신호 값이 더 크게 나타남을 그림 4로부터 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 광학 디스크 시스템에 shaded apodizer가 사용된 경우에 bump의 반경과 형태 변화 그리고 구면수차에 따른 재생 신호의 변화와 광학 디스크 면상의 회절광(Point Spread Function)과의 관계를 조사하였다.

광학 디스크 면에 맺는 회절광의 중심 spot의 강도와 sidelobe의 강도가 재생 신호에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있었으며, 특히 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 증가하는 경우에는 강도가 큰 sidelobe의 영향에 의해서 bump 반경이 큰 영역에서 극대값을 갖는 특성이 나타남을 알 수 있었다.

또한 동의 중앙에서 가장자리로 갈수록 진폭이 단조 감소하는 경우의 apodizer는 구면수차량에 대한 보정 효과가 있어, 구면수차가 0.5λ 포함된 광학 디스크 시스템에서 최대 재생 신호가 apodizer가 없는 경우(f<sub>U</sub>)의 최대 재생 신호보다 크게 나타남을 알 수 있었다.

이러한 결과들은 Digital Video Disc와 같은 고밀도 광학 디스크 시스템 개발에 유용하게 이용되리라 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 1998년도 핵심전문연구 연구비(981-0206-022-1) 지원에 의해서 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] H. H. Hopkins, JOSA, **69**, 4 (1979).
- [2] M. Nagashima, Appl. Phys. Lett. **42**, 144 (1993).
- [3] C. W. Lee et al. Jpn. J. Appl. Phys. **36**, 486 (1997).
- [4] 박성찬 외 6명, 제7회 광기술 워크샵 논문집, 15 (1997).
- [5] I. Kawakubo, J. Funazaki, K. Shirane and A. Yoshiza, Appl. Opt. **33**, 6855 (1994).
- [6] K. Yamamoto, K. Osato, I. Ichimura, F. Maeda and T. Watanabe, Jpn. J. Appl. Phys. **36**, 456 (1997).
- [7] K. Yasuda, M. Ono, K. Aratani, K. Fukumoto and M.

- Kaneko, Jpn. J. Appl. Phys. **32**, 5210 (1993).
- [8] O. Ohkubo, M. Okada, M. Murahata, T. Ide and T. Iwanaga, Jpn. J. Appl. Phys. **32**, 5230 (1993).
- [9] H. Ooki R. Arimoto, Y. Iwasaki and J. Iwasaki, Jpn. J. Appl. Phys. **32**, 1668 (1993).
- [10] Y. Wu and Y. B. M. Noor, Appl. Phys. Lett. **66**, 20 (1994).
- [11] T. Tanabe, Appl. Opt. **34**, 6769 (1995).
- [12] N. Shinoda and K. Kime, Jpn. J. Appl. Phys. **35**, 380 (1996).
- [13] C. S. Chung and H. H. Hopkins, J. Mod. Opt. **42**, 57 (1995).
- [14] S. J. Park, S. H. Sim and C. S. Chung, SPIE **2778**, 3 (1996).
- [15] S. J. Park and C. S. Chung, J. Korean Phys. Soc. **32**, 35 (1998).
- [16] S. J. Park and C. S. Chung, J. Opt. and Laser Tech. **30**, 85 (1998).
- [17] S. J. Park, S. H. Sim and C. S. Chung, SPIE **3578**, 2 (1998).
- [18] S. J. Park, Y. C. Lee, S. H. Sim and C. S. Chung, Proc. of CELO/Pacific Rim '99, **2**, 555 (1999).

### The effect of shaded apodizer on the read-out signal in an optical disc system

Seong Jong Park

*Department of Ophthalmic Optics, Cunchon Chongam College, Cunchon 540-743, Korea*

Sang Hyun Sim

*Department of Optometry, Chongin College, Chungup 580-060, Korea*

Chang Sub Chung

*Department of Physics, Chonnam University, Kwangju 500-757, Korea*

(Received September 29, 1999, Revised manuscript received November 23, 1999)

To investigate the effect of a shaded apodizer on the read-out signal in an optical disc system, we consider the  $f_S$  apodizer in which the amplitude transmittance decreases gradually from the center of pupil toward its edge and the  $f_H$  apodizer in which the amplitude transmittance increases gradually from the center of pupil toward its edge, using the scalar diffraction theory. We also consider the bump shapes which are a cylindric, a semi-conic, and a conic bump, and bump height which is given by  $\lambda/4$  and occurs to the phase change ( $\pi$ ). The read-out signal of  $f_S$  apodizer increases from  $S = 0$  upto maximum value, and then decreases for increasingly larger values of  $b_0$ . While the  $f_H$  apodizer has two maximum values. When an optical disc system has a spherical aberration ( $W_{40} = 0.5\lambda$ ), the maximum read-out signal of  $f_S$  apodizer is higher than that of  $f_U$  apodizer which has no apodizer.