광디스크를 위한 스칼라 회절이론

Scalar diffraction theory for optical disk

김명준
아주대학교 일반대학원, 분자과학기술학과(물리), mjkim@ajou.ac.kr

회절은 호이겐스의 파동이론에서 간섭과 더불어서 중요한 것이다. 파면에 수직한 구조의 회절격자에 의한 회절과 파면에 평행한 구조의 격자에 의한 Bragg 규칙등과 더불어 근래에는 회절격자 구실을 하는 트랙에 집광된 빛의 회절이 광 저장장치 및 시스템 개발 생산에 크게 활용되고 있다. 특히, Super ReNS 상변화 기록재생의 과정을 이론적으로 연구하는 데에 이용되고 있다. 다음 식은 계산에 사용된 호이겐스-흐레넬 원리를 기술하는 수식이다[1].

$$U(P_0) = \frac{1}{i2\lambda}\int\int U(P_1)e^{ikr}(1+\cos\theta)/r\,ds \text{ ......1)}$$

여기서, P_1은 광의 출발점 P_0는 광의 도착점, r은 출발점과 도착점간의 거리, z를 주 광 빔의 진행 방향이라고 했을 때 $\cos\Theta = z/r$, U는 스칼라 장의 크기이다. 호이겐스-흐레넬 원리에 기초한 Scalar Diffraction Theory는 가우시안 프로파일을 가진 광 빔이 렌즈의 어퍼쳐로 유한반경을 가지게 되고 Phase factor 에 의해 집광이 후리에 변환으로 기술된다. Disk Geometry를 고려하면 Groove structure 다음과 같이 기술된다.

Land (In) Phase = exp(-2jknd)
Groove(On) Phase = 1.0
Wall Amp. = 0.0
Land & Groove Amp. = r ......2)

여기서, $k = 2\pi/\lambda$, n 기판의 굴절률이고, d 은 그루브 깊이이며 r은 흐레넬 반사 계수이다.

$$\mathrm{OPD} = w/\cos\Theta' + nt/\cos\Theta \text{ ......3)}$$

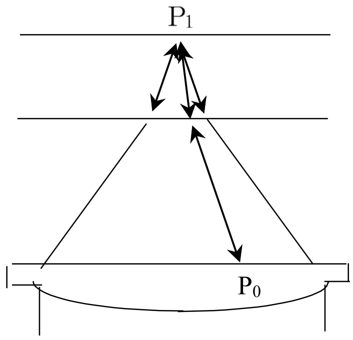

Fig.1 Optical disk & lens system

여기서, $\rho = \sqrt{(x^2+y^2)} \simeq \sqrt{((x-\xi)^2+(y-\eta)^2)}$

$= \{nw/\sqrt{[1-(n^2-1)\tan^2\Theta]} + t\}\tan^2\Theta$ 을 위식에 대입하면 아래와 같이 FFT로 근사된다.

$$\mathrm{OPD} \simeq nt + W + (n/2)(x^2+y^2)/(t+nw) + n(x\xi+y\eta)/(t+nw) \text{ ......4)}$$

Fourier 근사의 메카니즘은 다음과 같이 설명된다. 비록 렌즈 출사 표면상의 빔의 임의의 부분도 매질의 기록 표면 위의 스팟 전체에 집광되지만, 그 부분의 반사된 부분은 대물 렌즈 표면의 반대편으로 복귀한다. 이러한 현실적인 벡터 방식으로 계산을 진행하면 호이겐스 흐레넬 원리에서 $(1+\cos\Theta)/r$ 항을 오른쪽 그림에서와 같이 유리-공기-기판 계면에서의 굴절각에 따른 흐레넬 계수로 대체할 수 있겠다. 거친 표면에 대해서, 산란이 중요해지고, 산란과 반사가 나누어지는데 이것이 반사 계산의 오류 원 중의 하나다. 회절의 원인으로서 렌즈 표면에 의한 것이 주요산란 원인이며 그 외에도 기판 표면에서의 산란과 공기 폴리카보니트의 산란 도 약간 존재할

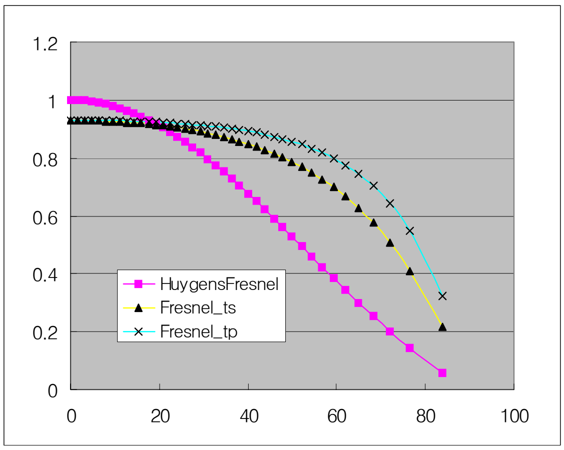

Fig.2 호이겐스-흐레넬 원리와 흐레넬 계수

수 있다고 보여 진다.

그림3의 좌측 상단에는 4층 기록 막에서의 수직입사광의 포인팅 벡터의 계산 치로 기록 막과 반사 막에서만 흡수가 되며 대부분 기록 막에서 흡수가 된다는 결과를 보여준다. 좌측 하단에는 첫 유전체 막의 두께에 따른 기록 다층막의 반사율의 변화를 보여주는 것으로 정현 변화를 보여줌을 알 수 있다. 우측의 세 그림은 제일 위의 그림이 대물 렌즈를 통과한 광의 광 량 분포이고 중간 그림은 기록 막에 도달한 광의 분포 그리고 아래그림은 기록 막에 반사되어 렌즈에 도달한 광량의 분포가 된다. 광은 그 후 田 자형의 4분할 광 검출기로 이송되어 검출된다. 근래에는 틸트를 검출하려고 더 복잡한 검출기가 사용되고 있다.

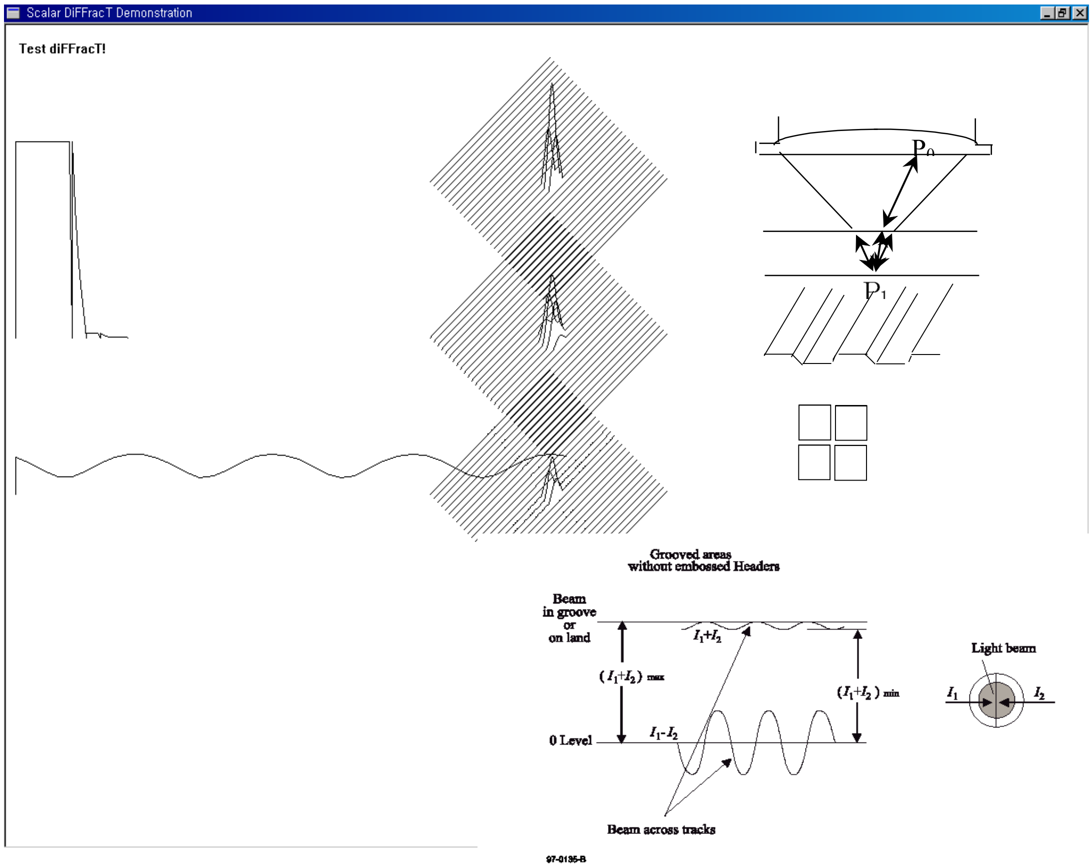

그림 3 스칼라 회절 계산 결과와 Groove신호[2]

결론적으로, 벡터 회절의 도입한 것과의 차이가 비교될 수 있는데 벡터 회절로 볼 때, 고입사각의 기여가 더 크질 수 있다는 것을 알 수가 있다.

References

[0] Joseph W.Goodman, McGrawHill *Introduction to Fourier Optics*.

[1] ECMA-274 DVD-RAM Specifications

[2] B.E.A. Saleh, M.C. Teich, *Fundamentals of Photonics*.

[3] M.J.Kim *et al.*, Tech. dig. of ISOM'98, We-G-03, pp.58-59.

[4] C.You *et al.*, J. Appl. Phys. Vol.84 No.1, (1998) pp.541-546.

[5] John M. Cowley, *Diffraction Physics* ,Chapter1