

반사현미경의 굴절률 측정에 대한 비수직 입사광의 분석

Analysis for tightly-focused incident rays in epimicroscopic refractive index measurements

조승범, Cheng Liu, 김덕영
 광주과학기술원 정보통신공학과
 sbcho@gist.ac.kr

평평한 표면의 반사율은 Fresnel 방정식에 의해 굴절률과 연관 된다. 그리고 이것은 초점에 맞춰진 빛이 표면에 수직 입사한다는 간단한 가정에 의해 획득된 반사율 분포를 굴절률 분포로 쉽게 변환되곤 했다⁽¹⁾. 이 가정 하에서 반사율의 변화는 거의 선형적으로 굴절률의 변화에 대응을 하고 게다가 굴절률로의 변환은 매우 간단하게 계산된다. 그러나 초점에 집광되는 Gaussian 빔은 명확히 평면파가 아니다. 그리고 그것의 각도 성분은 대물렌즈의 numerical aperture(N. A.)의 증가와 함께 현저하게 증가한다. 굴절률 측정에서 입사광은 각각 다른 반사 계수를 가지는 각도 성분에 의한 평면파들의 각도 분포 표현이 고려되어 져야한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 벡터 Fresnel 방정식에 대해 광섬유 표면에서 비수직 입사의 분석이 사용된다⁽²⁾. 그리고 구체화 하기위해 광섬유 표면의 초점에 집광되는 입사광의 전기장과 자기장은 삼차원적 벡터 적분에 의해 계산되어 진다⁽³⁾. 전기장과 자기장을 포함하는 반사된 빛은 벡터 Fresnel 방정식을 이용하여 각각의 각성분에 따른 반사율의 차이를 고려함으로써 계산된다. 그림 1은 대물렌즈에 의해 집광되는 평면파의 계략도이다. x, y , 그리고 z 는 직각 좌표계의 세 축이다. f 는 집광하는 대물렌즈의 초점 거리이고, θ 는 z 축으로부터의 극선각이고, ϕ 는 x 축으로부터의 방위각이다. 입사하는 빛은 렌즈 앞에서 기본 Gaussian 빔이고, x 방향으로 편광 되어 있다고 가정한다.

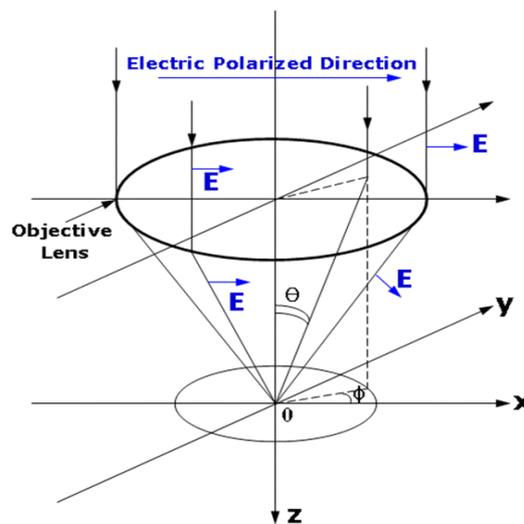


그림1. 직각 좌표계안에서 선형적으로 편광된 Gaussian 빔의 focusing의 schematic diagram

입사된 에너지와 반사된 에너지의 비율인 표면의 반사율은 각각 필드들의 Poynting flux를 계산함으로써 결정 된다. 그림 2(좌)는 대물렌즈의 N. A. 변화에 따른 반사율의 변화를 나타내는 그림으로 점선은 수직 입사 가정에 의한 값들이고 실선은 각도성분을 고려하여 예견된 실제 값들이다. 실제 반사율은 대물렌즈의 N. A. 가 증가함과 함께 증가하고, 더욱이 수직 입사 가정에 의해 예견된 값들보다 항상 큰 값을 가짐을 알 수 있고 N. A.가 0.5 이하인 경우에는 두 값들이 거의 일치함을 알 수 있다. 그림 2(우)는 N. A.는 고정된 상태에서 우리가 제안한 각도성분을 고려하여 얻은 굴절률과 수직 입사 가정하여 얻은 값들의 오차를 굴절률 변화에 따라 나타낸 그림이다. N. A. 가 0.7 일 때는 약 1%정도 그리고 0.9 일 때는 대략 12%까지 오차가 나는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션에 적용된 대물렌즈의 반지름은 1.4mm이고 Gaussian beam waist는 1.05mm로 설정 되었다.

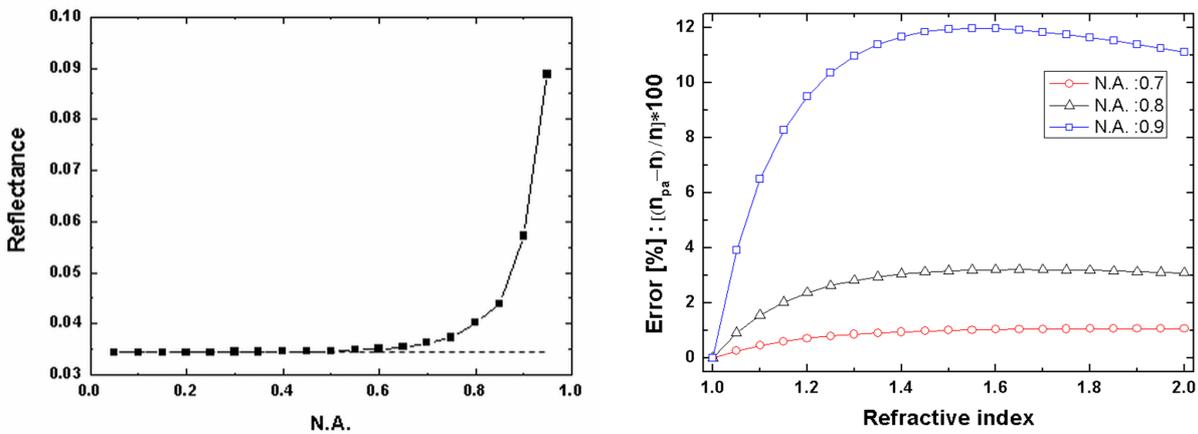


그림 2: (좌)N. A. 증가에 따른 반사율의 변화, (우)고정된 N. A.와 굴절률 변화에 따른 굴절률 오차

본 논문에서는 초점에 맞춰진 빛이 표면에 수직 입사한다는 간단한 가정에 의해 획득된 반사율을 통하여 굴절률을 구하던 기존의 방법과는 달리 입사광을 각각 다른 반사 계수를 가지는 각도 성분을 고려하여 분석 하였다. 그리고 우리는 실제의 반사율은 수직 입사로 가정된 반사율 보다 항상 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 이렇듯 반사형 현미경을 이용한 굴절률 측정방법에 있어서 더욱 정확한 분석을 제공함으로써 더 낮은 굴절률 분포측정에 많은 기여를 할 수 있다.

Acknowledgement

This work was supported by Creative Research Initiatives (3D Nano Optical Imaging Systems Research Group) of MOST/KOSEF.

참고문헌

1. S. B. Cho, Y. Youk, D. Y. Kim, "Stable system technique for measuring the refractive index profile of an optical fiber by modified fiber-type confocal microscope method," Proceedings of the SPIE, **6469**, pp. 646914 (2007).
2. W. J. Stewart, "Optical fiber and perform profiling technology," IEEE J. Quan. Elect. , **QE-18** (10), 1451-1466 (1982).
3. S. Hasegawa, N. Aoyama, A. Futamata, and T. Uchiyama, "Optical tunneling effect calculation of a solid immersion lens for use in optical disk memory," Appl. Opt. **38**, 2297-2300 (1999).