

Cavity ring-down 방법을 이용한 반사경의 손실 측정

Measurements of mirror losses using cavity ring-down method

조현주, 신명진, 임경아, 문용권, 이재철
고등기술연구원, 광전자팀
hjcho@iae.re.kr

대부분의 유전체 박막을 사용하는 광학 박막의 경우 박막의 산란 및 흡수는 그 양이 작아 무시하고 있다. 그러나 최근 중력과 측정 장치⁽¹⁾(gravitational wave measurement system), 광자 감쇠 분광법⁽²⁾(cavity ring down spectroscopy)등의 연구가 진행되면서 손실이 매우 작은 반사경을 제작하고 측정하는 연구가 관심을 끌게되었다. 본 연구에서는 손실이 매우 작은 반사경을 ion beam sputtering 방법과 electron beam 증착 방법으로 제작하고 제작된 반사경의 손실을 cavity ring-down 방법을 이용하여 측정하고 그 결과를 비교하였다.

Ion beam sputtering 방법의 경우 Ta₂O₅와 SiO₂를 각각 고굴절률 물질과 저굴절률 물질로 사용하여 상온에서 반사경을 제작하였으며 Ta와 SiO₂ 타겟을 800eV와 900eV로 각각 sputtering 하는 방법을 사용하고 적당량의 산소를 챔버에 주입하여 박막의 원소 조성비를 조정하였다. Electron beam 증착 방법의 경우 두 개의 electron beam에 TiO₂와 SiO₂를 각각 놓고 기판 온도 250°C에서 evaporation 하는 방법을 사용하였으며 증착에 사용한 기판은 표면 거칠기가 1Å 이하인 super-polished 기판을 사용하였다.

Cavity ring-down 방법⁽³⁾은 2개의 고반사율 반사경으로 구성된 passive 공진기에 연속적으로 빛을 입사시켜 공진 시킨 다음 순간적으로 빛을 차단하면 공진기 안에 있던 빛은 더 이상 이득을 얻지 못하고 공진기 손실에 의해 지수 함수 형태로 감쇠하므로 그 감쇠 곡선으로부터 공진기 손실을 측정해 내는 것이다. 이 방법은 공진기의 손실에 의해 감쇠하는 시간을 측정하는 것이므로 광원의 세기 불안정성에 관계없는 신호를 얻을 수 있고 반사율이 매우 높은 고반사율 반사경 측정에 유리하다는 장점이 있다.

본 실험에서 제작한 반사경은 632.8nm 파장에서 s-편광된 빛이 45° 로 입사되는 조건에서 사용되는 것으로 반사경의 손실을 평가하기 위하여 그림 1과 같은 측정 장치를 구성하였다. 광원으로 선형 편광된 He-Ne laser를 사용하였고 두 개의 reference 반사경으로 reference 공진기를 구성하여 공진기 손실을 측정한 후, 공진기 길이의 변화 없이 측정할 반사경을 45° 로 삽입한 test 공진기를 구성하여 각 공진 상태에서의 감쇠 시간을 측정하고

$$R_3 = \sqrt{\frac{\frac{1}{\tau_t} - \frac{c}{2d}}{\frac{1}{\tau_r} - \frac{c}{2d}}}$$

의 식을 사용하여 제작된 반사경의 손실을 결정하였다. 여기서 R_3 는 측정하고자 하는 반사경의 반사율이고 τ_t 는 test 공진기의 감쇠 시간이며 τ_r 은 reference 공진기의 감쇠 시간이고, d 와 c 는 각각 공진기 길이와 광속이다.

그림 2와 3은 반사경의 손실을 측정할 때 측정된 reference 공진기와 test 공진기의 감쇠 그래프이다. 보이는 바와 같이 측정된 감쇠 곡선을 선형 맞춤 하였을 때 χ^2 값이 0.00005 이내로 지수함수와 일치함을 알 수 있고

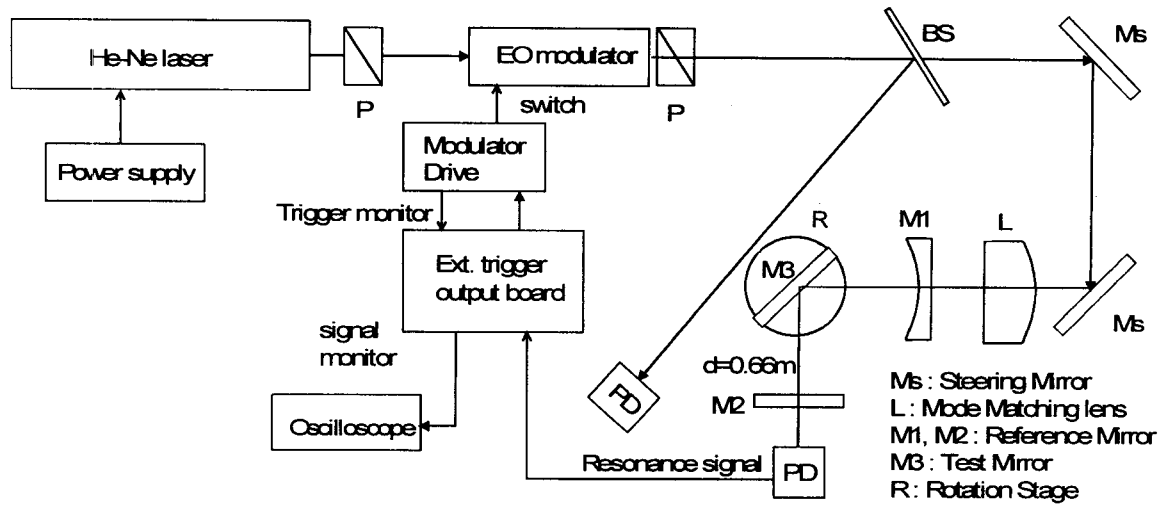


그림 1 Cavity ring-down 측정 장비 구성도

reference 공진기에 비해 test 반사경이 하나 더 삽입된 test 공진기의 경우에 손실이 커짐으로 인해 그래프가 빠른 속도로 감소함을 알 수 있다. 이와 같은 방법으로 두 방법에 의하여 제작된 반사경의 손실을 각각 측정하고 그 결과를 비교하였다.

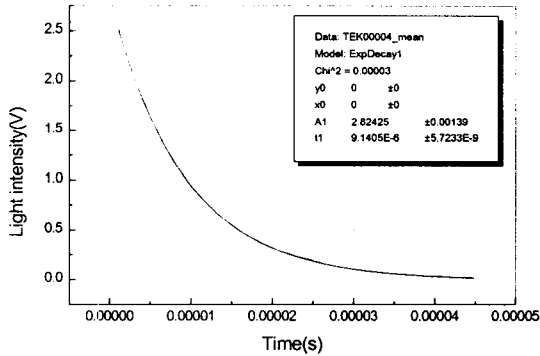


그림 2 Reference cavity decay curve

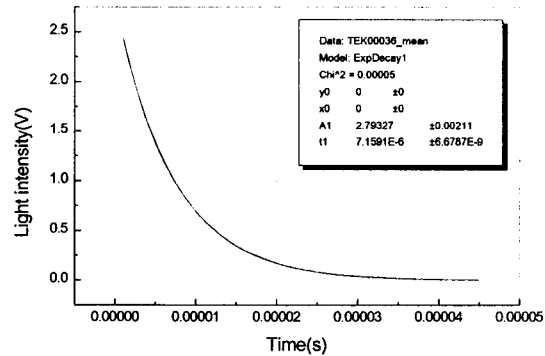


그림 3 Test cavity decay curve

참고문헌

1. P. Fritschel, N. Mavalvala, D. Shoemaker, D. Sigg, M. Zucker, and G. Gonzalez, "Alignment of an interferometric gravitational wave detector", *Appl. Opt.* **37**, 6734 (1998).
2. J. W. Hahn, Y. S. Yoo, J. Y. Lee, J. W. Kim, H. W. Lee, "Cavity ring down spectroscopy with a continuous wave laser: calculation of coupling efficiency and a new spectrometer design", *Appl. Opt.* **38**, 1859 (1999).
3. G. Remps, R.J. Thompson, H.J. Kimble, and R. Lalezari, "Measurement of ultra low losses in an optical interferometer", *Opt. Lett.*, **17**, 363 (1992).