

광 스펙트럼 분석기를 이용한 파장대역 간섭계의 구현

Implementation of Spectral-Domain Interferometry with Optical Spectrum Analyzer

최은서*, 유선영, 나지훈, 이병하
 광주과학기술원 정보통신공학과
 e-mail : cesman@gist.ac.kr

We demonstrate spectral-domain interferometric system with an optical spectrum analyzer instead of a spectrometer and photodiode array. By changing mirror position, spectrogram was measured. Analyzed results showed each reflection peak from the mirror was well placed on the mirror position. The measured thickness of a coverglass was well matched with the physical thickness of about 1 mm.

Optical coherence tomography (OCT)는 비절개적으로 생체조직의 내부 단면을 이미징 할 수 있는 image modality 중의 하나로 근적외선광을 이용하여 수 마이크로 정도의 고분해능을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다[1]. 이러한 고분해능의 특징과 함께 최근에는 실시간 동영상 수준의 이미징의 기술이 접목되어 정적인 이미징 뿐만 아니라 동적인 상태의 추이를 관찰하는데도 응용되어 지고 있다. 또한 기능적인 OCT를 통하여 보다 다양한 정보를 얻고자 노력하고 있다.

OCT는 기본적으로 가간섭 거리가 매우 짧은 광원을 이용한 마이켈슨 간섭계로 구성되어 있다. OCT 기준단에서는 반사거울의 위치를 연속적으로 바꾸어 줌으로써 샘플 내부의 반사 계면의 위치에 따라서 간섭신호를 생성하게 한다. 이러한 간섭신호는 적절한 신호처리를 통해서 단면 이미지로 구현된다. 이러한 방법을 TD(Time-domain)-OCT라고 부른다. TD-OCT에서의 광지연선로는 갈바노 스캐너와 bulk 광학소자들로 구성되는데 이 경우에는 광손실이 크고 광축을 정렬하는데 어려움이 수반되며 동시에 회절격자의 사용으로 인한 분산 보상의 문제가 필연적으로 내제되어 있다. 이러한 문제점들을 해결하고자 광지연선로가 없는 SD(Spectral-domain)-OCT[2]에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

SD-OCT의 경우에는 TD-OCT에 비해서 높은 신호대 잡음의 비(SNR)를 가지며 실시간 이미징의 구현 또한 가능하다[2]. 무엇보다도 기구적인 광지연선로가 없게 되므로 시스템의 안정성을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 광지연선로 없이 샘플 내부의 이미징을 하기 위해서는 광원의 파장 성분에 따른 간섭신호를 측정함으로써 가능하다. 이를 위해서는 광원의 파장을 변화시키면서 각 파장에 대한 간섭신호를 측정하는 방법과 측정단에서 회절격자를 이용해 각각의 파장에 따른 광신호를 구분하는 방법이 가능하다. 그러므로 시스템을 구성하는데 파장 가변형 광원을 이용하는 경우[3]와 분광계(spectrometer)와 photodiode array를 이용한 방법[4]이 주로 이용된다.

본 실험에서는 기존의 OCT 시스템을 기반으로 SD-OCT를 위한 실험 장치를 구성하고 기본적인 SD-OCT의 작동 및 얻어진 신호의 분석을 수행해 보았다. SD-OCT 시스템은 SLD 광원과 광섬유 간섭계 그리고 광통신 광계측기인 광 스펙트럼 분석기(Optical spectrum analyzer)로 구성되었다. OSA의 경우에는 각각의 파장 성분에 대한 광신호의 세기를 측정하는 기기로서 기본적인 역할에서 분광계와 동일한 역할을 할 수가 있다. 실험에서는 샘플단의 scanning 없이 일차원적인 간섭신호만을 측정하였고 실험에 사용한 샘플은 반사거울과 cover glass를 이용하여 샘플의 위치와 두께를 측정해 보고자 하였다.

그림 1은 실험장치의 개략도이다. 저간섭성 광원과 간섭계를 이용하여 간섭무늬를 생성하고 이를 OSA에서 파장별로 구분하게 된다. 샘플단에는 반사거울 또는 cover glass가 위치된다. 시스템의 구동 및 성능을 확인하고자 일정한 거리만큼 이동하면서 spectrogram을 측정, 분석하여 이동시킨 거리와 비교해 보았다. 그림 2는 구성된 시스템으로부터 측정된 spectrogram의 한 예로써 간섭무늬의 간격의 두 단의 거리차에 따라서 바뀌게 된다. 이 신호를 역푸리에 변환을 통하여 최종적으로 거리에 대한 광신호의 분포로 계산하게 된다. 그림 3에서는 일정한 거리만큼 이동한 반사거울의 위치에 따른 측정된 광신호의 변화를 보여주고 있다. 기준단의 반사거울과 콜리메이터간의 거리가 좁아질수록 기준단과 샘플단 간의 광경로의 차이는 커지게 되는데 이를 분석한 결과에서 확실히 확인할 수가 있다. 측정 결과

에서 여러 개의 작은 peak가 있는 것이 보이는데 이는 광섬유 간섭계의 ferrule 끝단, 사용한 optics들의 각각 면에서 반사된 신호들 간의 간섭에 의한 것으로 생각된다. 그림 4는 반사거울 면 위에 cover glass를 놓은 경우 측정된 신호를 보여주고 있다. 반사거울만 있는 경우와 비교할 때 일정한 거울에서 반사된 신호 이외에 cover glass에서 반사된 신호를 볼 수가 있다. 그러나 거울과 glass 사이의 공기층은 구분이 되지 않는 것을 볼 수 있다.

본 논문에서는 OSA를 이용하여 파장대역 간섭계를 구성하고 이를 이용하여 반사거울의 위치에 따른 신호의 변화를 관찰하였으며 1 mm 정도의 coverglass 두께를 측정하였다. 검출단의 성능을 개선 및 발전시킴으로써 SD-OCT로의 활용도 가능하리라 생각된다.

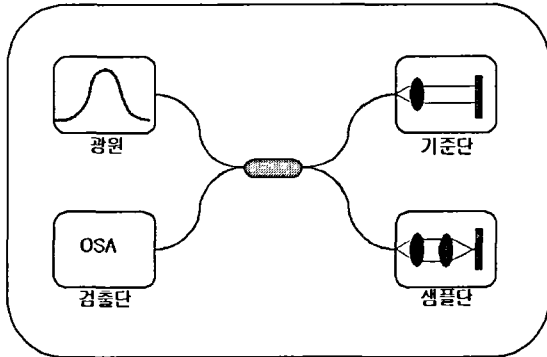


그림 1. SD-OCT 실험 장치 개략도. TD-OCT에 비해 기준단의 역학적인 운동이 없다. OSA로써 spectrogram을 측정하였다.

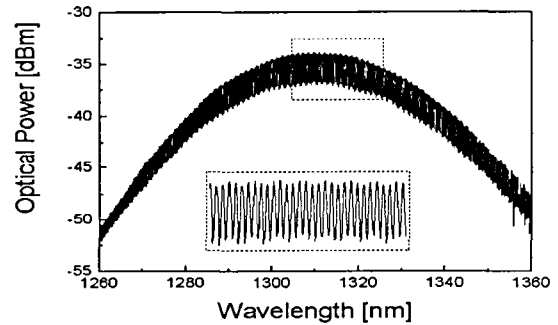


그림 2. 전형적인 spectrogram과 일부분의 확대도. 중간의 실선의 상자부분을 확대해 보면 간섭무늬 형태를 확실히 확인할 수 있다.

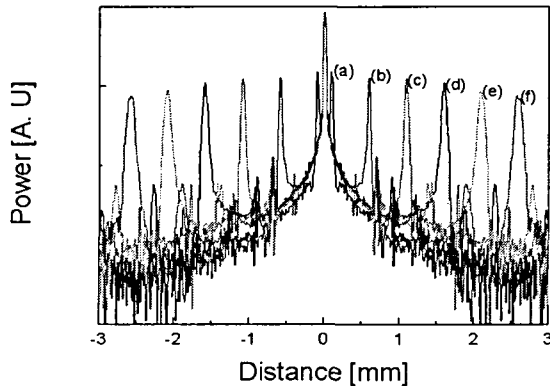


그림 3. 반사거울 이동에 따른 측정 신호의 변화. 그림에서 (a)를 기준으로 (f)까지 각각 0.5 mm 씩 이동하면서 얻은 신호로 측정 결과에서도 이동한 값과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이로써 SD-간섭계의 성능을 확인할 수 있다.

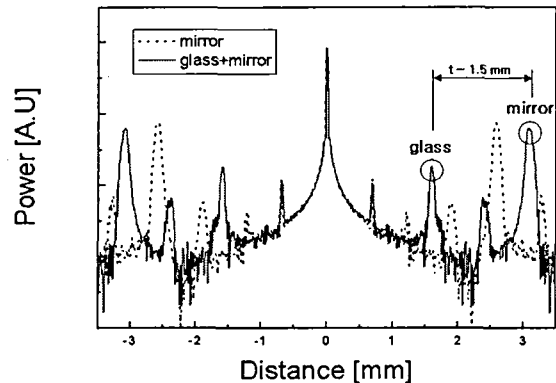


그림 4. 반사거울과 반사거울 위에 유리판을 올려놓고 얻은 반사 신호의 비교. 유리판에서 반사된 신호와 반사거울에서 반사된 신호가 측정되었고 두 peak 간의 거리가 1.5 mm로 유리판의 굴절률(약 1.5)을 고려하면 1 mm 두께와 잘 일치한다.

본 연구는 광주과학기술원의 ERC, BK-21, APRI 사업의 일부 지원금에 의한 것입니다.

References

1. D. Huang et al., Science, 254, 1178 (1997).
2. G. Hausler et al., J. Biomed. Opt. 3, 1 (2002)
3. S. H. Yun et. al., Opt, Express, 11, 22 (2003).
4. M. Wojtkowski et. al., Opt. Lett., 28, 19 (2003).

TF