

마흐젠더 간섭계를 이용한 바이오센서의 구현

추성중^{1,2}, 이병철¹, 김진식², 박정호², *신현준¹

¹한국과학기술연구원 나노바이오연구센터

²고려대학교 전자전기공학부

e-mail : kaiphy@kist.re.kr

Biosensor Implementation Using an Integrated Mach-Zehnder Interferometer

Sung Joong Choo^{1,2}, Byung Cheol Lee¹, Jinsik Kim², Jung Ho Park², *Hyun-Joon Shin¹

¹ Nano Bio Reserch Center, Korea Institute of Science and Technology

² School of Electrical Engineering, Korea University

Abstract

An integrated Mach-Zehnder interferometer for biosensor applications was designed and fabricated. To implement the optimum biosensor a rib waveguide must have single mode operation and high sensitivity. The proposed Mach-Zehnder interferometer was fabricated based on these design rules, and its feasibility is confirmed by ethanol detection experiment in the real-time measurement system operating at 632.8 nm.

MEMS (Microelectromechanical Systems)기술이 모두 필요하다고 할 수 있다. 공학적 관점에서 볼 때, MEMS기술로 제작할 수 있는 바이오센서들 중에서 광간섭계 특히 마흐젠더 간섭계는 그 높은 감지도로 인해 많은 주목을 받고 있다[1].

본 논문에서는 기존에 개발 되어서 사용되고 있는 광간섭계들 중에서 마흐젠더 간섭계를 이용한 바이오센서를 설계 및 제작하였고 에탄올 감지 실험으로 그 실현가능성을 확인하였다.

I. 서론

최근 조류 인플루엔자(AI, avian influenza) 바이러스나 중증 급성 호흡기 증후군(SARS, severe acute respiratory syndrome)과 같은 질병재해나 바이오해저드(biohazard)의 위험성 증가로 인해 실시간 무표지 생체물질 감지기술의 필요성이 날로 증대되고 있다. 또한 차세대 의료진단 시스템으로 각광받고 있는 POC 서비스(Point of Care Service)에서도 휴대가능한 생체물질 감지기의 존재는 필수불가결이다. 이런 시대상황에 대응하여 최근 가장 활발히 연구되고 있는 분야가 바로 바이오칩 연구개발 분야이다. 바이오칩 연구개발 분야는 생명공학(biotechnology)과 센서제작을 위한

II. 본론

2.1 마흐젠더 간섭계 설계

마흐젠더 간섭계를 바이오센서로 이용하기 위해서 고려해야 할 설계 파라미터는 크게 두 가지가 있다. 단일모드와 감지도가 그것이다. 단일모드에서 동작하는 rib 도파로의 형상을 알기 위하여 S. P. Pogossian이 제시한 방법을 이용하여 설계하였다[2]. 그림 1은 그 설계결과를 나타낸 그래프로써 rib 도파로의 단면형상 중 rib Height를 x축으로 rib depth를 y축으로 하여 단일모드/ 다모드 조건의 경계선을 나타내었다. 그림 1에서 빗금친 영역 안에서 rib 도파로가 제작됐을 때만 단일모드를 만족할 수 있음을 확인할 수 있다. 이때 rib 도파로의 폭은 2 μ m, 파장은 632.8nm, 코어 도파로의 굴절률은 1.53, 기관 굴절률은 1.458, 커버 클래딩 굴절률은 1.33, 1.461 때를 각각 가정하여 그래프로 나타내었다.

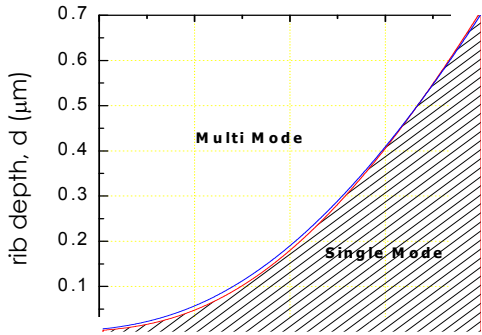


그림 1. rib 도파로 형상(rib Height, rib depth)에 따른 도파모드조건 그래프

간섭계의 감지도 특성을 고려하려면 커버 클래딩 층의 유효굴절률 변화(ΔN)에 따른 파장천이 변화량($\Delta\Phi$)을 계산하면 된다.

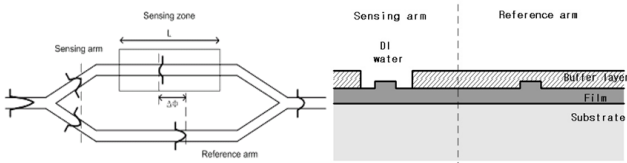


그림 2. 센싱용 마흐젠더 간섭계의 평면도(좌)와 단면도(우)

그림 2와 같은 마흐젠더 간섭계에서 커버 클래딩 층의 변화를 감지할 수 있는 영역(sensing zone)의 길이 L을 고려하면 파장천이량 $\Delta\Phi$ 이 식(1)과 같음을 알 수 있다.

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} L\Delta N \quad (1)$$

2.2 마흐젠더 간섭계의 제작

그림 2와 같은 마흐젠더 간섭계를 제작하기 위하여 Si 기판 위에 굴절률이 1.458인 SiO_2 버퍼층 두께가 약 $2\mu\text{m}$ 가 되도록 노광기로 성장시켰다. 그 다음에 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 굴절률이 1.53인 SiO_x 약 $1.3\mu\text{m}$ 코어층을 성장하였고 이를 사진식각 공정과 RIE (Reactive Ion Etching)를 이용하여 도파로 폭이 $2\mu\text{m}$, rib depth $0.11\mu\text{m}$ 가 되도록 하였다. 그 다음에 PECVD로 굴절률이 1.461인 SiO_2 를 이용하여 약 $2\mu\text{m}$ 의 클래딩 층을 성장시켰다. 마지막으로 사진식각 공정으로 센싱존 패턴을 만든 후 RIE로 구현하였다.

III. 측정

구현에 사용된 시스템은 He-Ne laser(632.8nm)를 사용하였으며 PBS(Polarizing Beam Splitter)를 이용하여 수직편광하여 소자에 입사하였다. 소자의 출력광은

Optical Power meter(Newport 1830-C)로 약 100ms마다 측정하였다.

완성된 소자의 바이오센서로서의 실현가능성을 알기 위해 소자의 센싱존에 DI water $200\mu\text{l}$ 가 넣어져 있는 상태에서 에탄올 $100\mu\text{l}$ 를 피펫으로 떨어뜨려 그 출력광의 강도변화를 측정하였다(그림 3). 이때 DI water와 에탄올 혼합용액 간의 굴절률의 변화는 약 0.0132정도인 것을 실험 전에 아베 굴절계로 확인하였다.

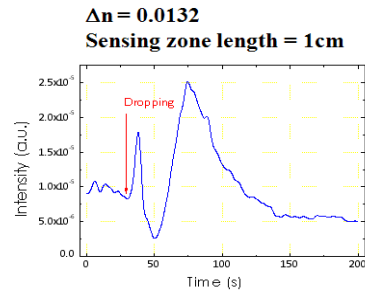


그림 3. DI water $200\mu\text{l}$ 가 들어있는 1cm짜리 센싱존에 에탄올 $100\mu\text{l}$ 를 떨어뜨렸을 때 출력광의 크기변화

IV. 결론 및 향후 연구 방향

마흐젠더 간섭계를 이용한 에탄올감지실험을 통해 센싱존 내 물질의 굴절률 변화에 따라 보강간섭과 상쇄간섭이 일어났음을 확인하였고 이를 통해 마흐젠더 간섭계를 이용한 바이오센서의 실현가능성을 확인할 수 있었다. 이때 식(1)에 기초하여 계산된 이론적인 감도는 $\Delta\Phi/\Delta N = \pi/4.24 \times 10^{-3}$ 이었고 그림 3의 에탄올 감지실험에서 측정된 실험적인 감도는 $\Delta\Phi/\Delta N = \pi/3.77 \times 10^{-3}$ 이었다. 앞으로 이러한 기초실험을 바탕으로 항원-항체 면역반응(immuno-reaction)과 같은 생체물질의 감지실험을 성공적으로 수행한다면 질병진단에 유용한 바이오칩을 만들 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] Ramaier Narayanaswamy, Otto S. Wolfbeis, "Optical Sensor", Springer, pp 228, 2004.
 [2] S. P. Pogossian, L. Vescan and A. Vonsovici, "The Single-Mode Condition for Semiconductor Rib Waveguides with Large Cross Section", IEEE J. Lightwave Technol., vol. 16, No. 10, pp. 1851-1853, Oct 1988.