

수소 가스 누출 감지를 위한 복합 페브리-페로 광섬유 간섭계

Composite Fabry-Perot type fiber interferometer for gaseous hydrogen leakage detection

박관섭^{1*}, 최해룡¹, 박성준¹, 박민수¹, 장재형¹, 김광택², 이병하¹

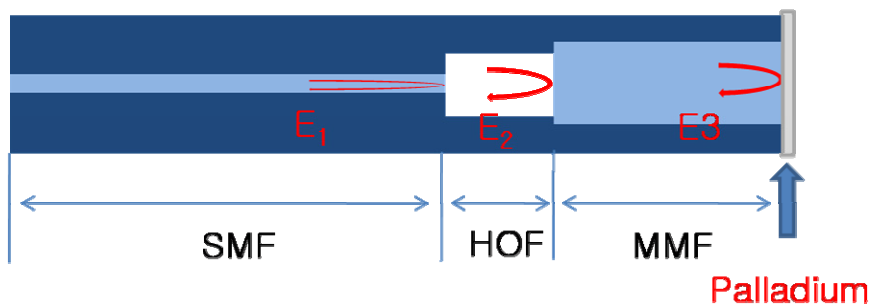
¹광주과학기술원 정보기전공학부

²호남대학교 광전자공학과

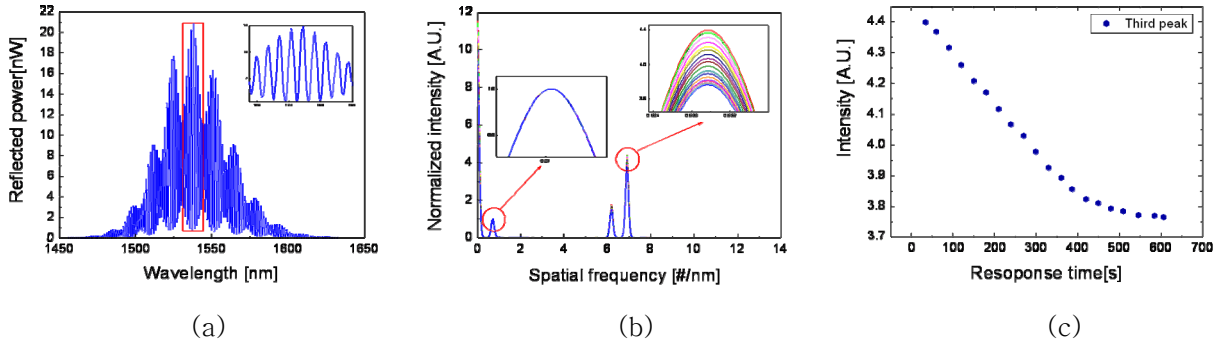
ganseobi@gist.ac.kr

현재 군사용 및 상업용 발사 로켓의 추진제로 사용되고 있는 수소는 최근 들어 화석연료를 대체 할 수 있는 미래 에너지원으로도 주목 받고 있다. 그러나 수소는 휘발성 및 가연성 등의 성질로 인한 폭발 위험성으로 인해 이를 취급함에 있어 사용자의 많은 주의가 요구된다. 최근 이러한 위험 요소를 사전에 감지하여 안전 사고를 줄이기 위한 수소 감지 센서의 중요성이 증대되고 있다. 하지만 기존의 상용화된 전기적 방법의 수소 감지 센서는 크기가 크고 무거우며 제작 가격이 비싸기 때문에 그 활용에 있어 제약이 있었다. 특히 전기적 방법은 불꽃에 의한 폭발의 위험성을 가지고 있기 때문에 수소에너지 수송 분야에 적용이 어렵다. 따라서 기존의 전기적 수소 감지 센서의 단점을 보완하기 위해, 위험성이 적고 가벼우며 제작이 용이한 광섬유 기반의 수소 센서들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지 보고된 광섬유 기반의 수소 감지 센서로는 단주기 격자를 이용한 방법¹⁾, 소멸파의 상호작용을 이용한 방법²⁾, 표면 플라즈몬 공명을 이용한 방법³⁾, 작은 팔라듐 거울을 이용한 방법⁴⁾ 등이 있다. 이러한 광섬유 기반의 수소 감지 센서들은 공통적으로 수소 흡착에 따라 광학적 특성이 변하는 가스채색 물질인 팔라듐(Pd) 혹은 팔라듐 합금을 센서 물질로서 이용하며, 수소에 노출된 팔라듐(Pd)의 광학적 특성 변화를 감지함으로써 수소의 존재를 검출하는 방법을 사용한다. 본 연구에서는 일반 단일 모드 광섬유와 중공 광섬유 그리고 다중 모드 광섬유를 결합하여 간단한 구조의 복합 페브리-페로 형태 간섭계를 제작하였고, 4% 수소 가스의 노출 시간에 따라 제작된 간섭계의 간섭 무늬의 크기 변화를 측정 함으로써 수소 가스 감지 센서로서의 활용 가능성을 확인 하였다.

그림 1 은 제안하는 수소 감지 센서의 구성도이다. 센서는 일반 단일 모드 광섬유에 중공 광섬유(길이 88 μm)와 다중 모드 광섬유(길이 500 μm)를 융착접속기를 통해 연속적으로 접속하고, 수직 절단된 다중모드 광섬유 끝단에 팔라듐(Pd) 10 nm 를 코팅 하는 것으로 구성되었다. 센서의 동작 원리는 각 단면에서 반사된 빛들이 서로 간섭을 하고, 센서 끝단에 코팅된 팔라듐이 수소 가스에 선택적으로 반응하여 간섭무늬에 변화를 주는데, 이 간섭무늬의 변화를 관찰함으로써 수소 가스의 유무를 확인하는 것에 기반한다.



[그림 1] 수소 가스 감지를 위한 센서 팁의 개략도



[그림 2] (a) 센서의 기준 간섭 스펙트럼, (b) 4% 수소가스에 노출 후 센서의 간섭 스펙트럼의 푸리에 변환 그래프 및 (c) 노출 시간에 따른 세 번째 피크의 크기 변화

그림 1의 각 단면에서 반사된 빛 E_1 , E_2 , E_3 는 서로 다른 광 경로를 가지므로 상호 간섭을 일으키고 그림 2(a)에 보이는 스펙트럼처럼 복잡한 간섭 무늬를 형성한다. 그림 2(b)는 복잡한 간섭 무늬의 분석을 위해 고속푸리에변환(Fast Fourier Transform)을 한 결과로서, 첫 번째 피크는 E_1 과 E_2 의 간섭, 두 번째 피크는 E_2 와 E_3 의 간섭, 세 번째 피크는 E_1 과 E_3 의 간섭에 의한 것이다. 여기에서 첫 번째 피크는 E_3 에 영향이 없어 이의 변화를 통해 파워 변화를 이용하는 센서들의 가장 큰 문제점인 불안정한 광원 파워에 의한 영향을 보정하고 오직 수소에 의한 변화만을 선택적으로 측정할 수 있다. 그리고 팔라듐의 굴절률 변화에 영향을 받는 E_3 에 기인한 두 번째 피크와 세 번째 피크의 변화를 통해 외부 수소 가스의 유무를 감지할 수 있다.

센서 팁이 수소 가스에 노출되면, 광섬유 끝 단에 코팅된 팔라듐(Pd)은 수소(H_2)와 결합하여 팔라듐하이드라이드(PdH_x) 상태가 된다. 이 과정에서 PdH_x 의 부피가 증가하고 이에 따라 팔라듐 내의 자유 전자 밀도가 감소한다. 자유 전자 밀도의 감소는 팔라듐 유전률의 실수 값과 허수 값의 감소를 초래하는데 이는 센서 끝 단면에서 반사되는 E_3 값을 감소시킨다. 이에 따라 첫 번째 피크를 제외한 두 번째 피크와 세 번째 피크 값이 감소하게 된다.

제안된 간섭계의 센서 팁을 챔버 안에 넣은 후 4% 수소 가스를 유입시키면서 센서 스펙트럼의 변화를 대기압, 상온에서 10분간 살펴 보았다. 그림 2(c)는 그림 2(b)에 나타난 세 번째 피크의 높이를 수소 노출 시간에 따라 측정한 결과이다. 노출 1분 정도 경과 후 반응하기 시작하였고, 약 7분 동안 변화가 지속되었으며 그 후 포화가 일어남을 볼 수 있었다.

요약하면, 본 연구에서는 수소 가스 유출 감지를 위해 소형의 팁으로 제작 가능한 광섬유 간섭계를 제안하였다. 제안된 복합 간섭계 센서는 불안정한 광원의 파워 변화로 인한 측정 오차를 제거할 수 있다는 특징을 가지며, 소형의 팁으로 제작이 가능하기 때문에 협소하고 열악한 측정 장소에서도 사용이 가능하다는 장점을 가진다.

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

참고문헌

1. M. Buric, *et al.*, "Active Fiber Bragg Grating Hydrogen Sensors for All-Temperature Operation," *IEEE Photonics Technology Letters*, 19(5), 255-257 (2007)
2. M. Tabib-Azar, *et al.*, "Highly sensitive hydrogen sensors using palladium coated fiber optics with exposed cores and evanescent field interactions," *Sen. Actuators B*, 56, 158-163 (1999)
3. B. Chadwick, *et al.*, "A hydrogen sensor based on the optical generation of surface plasmons in a palladium alloy," *Sen. Actuators B*, 22, 155-163 (1994)
4. M. A. Buttler, *et al.*, "Micromirror optical-fiber hydrogen sensor," *Sen. Actuators B*, 22, 155-163 (1994)