

폴리머 도파로 구조의 마이크로 표면 플라즈몬 공명 센서 분석

Analysis of a Novel Micro Surface Plasmon Resonance Sensor with Attenuated Total Reflection Mirror

오금윤, 김두근, 최운경, 최영완
중앙대학교 전자전기공학부 전파·광파통신연구실
yuni2326@gmail.com

현재 세계적으로 많은 바이오센서의 연구가 이루어지고 있고, 그 응용분야로는 환경, 제약, 바이오산업, 식품안전, 공업 등으로 확산되고 있다. 바이오센서는 화학적, 광학적, 음향적, 열적 특성을 이용한 방법 등으로 제작되는데, 근래에 들어 바이오센서는 광학적 특성을 이용하여 많이 제작된다. 그 중 표면 플라즈몬 공명을 이용한 센서가 1982년도에 Nylander 와 Lienberg에 의해 제작되었으며⁽¹⁾, 그 활용도가 확대되고 있다. 표면 플라즈몬 공명 센서는 검출에 지연시간이 없고, 분자나 원자에 따로 라벨링이 필요 없으며, 높은 감도를 가진다. 하지만 이러한 표면 플라즈몬 공명센서는 현재까지 그 크기가 크고, 가격이 비싸며, 제작하기가 까다롭다는 단점이 있다.

그림 1은 기존의 표면 플라즈몬 공명센서가 가지고 있던 단점을 극복하기 위해 폴리머 물질로 제안된 마이크로 표면 플라즈몬 공명 센서 시스템 구조도이다. 프리즘 구조 대신 폴리머 물질을 사용함으로써, 소형화가 가능하고, 가격을 낮출 수 있으며, 휴대성을 가질 수 있다.

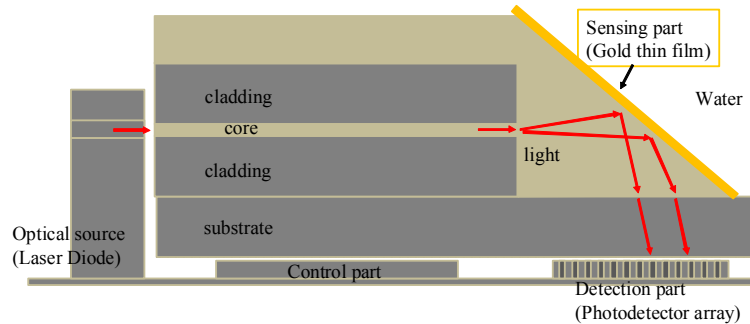


그림 1. 마이크로 표면 플라즈몬 공명 센서 시스템 구조도

제안된 구조는 SU-8의 도파로 코어, NOA-88의 클래딩, SU-8의 미러 블록을 형성하고, 그 외부에 검출영역으로 50 nm의 금박막을 사용한다. 이 구조의 특징으로는 폴리머 도파로와 미러 블록을 유리판 위에 제작하고, 한편으로 레이저 다이오드 소스와, 광검출부의 측정 영역, 그리고 제어하는 컨트롤 영역을 다른 판 위에 제작함으로써 휴대성을 증가시킬 수 있다. 레이저 다이오드에서 나온 632 nm 파장의 빛은 폴리머 도파로를 거쳐 미러 블록으로 확산된다. 이때 확산된 빛은 검출영역으로 도달하여 금박막에서 표면 플라즈몬 공진을 일으킨다. 따라서 반사된 빛은 유리판을 거쳐 측정 영역에 도달하게 된다.

제안된 폴리머 도파로는 4 μm 의 코어 폭을 가지고, 수십 μm 의 두께를 가지며, 632 nm 의 파장에서 0.19 ± 0.03 dB / cm 의 손실을 가진다⁽²⁾.

마이크로 표면 플라즈몬 공명 센서 구조를 정확한 해석을 위해 수치적 해석 방법인 Finite-Difference Time Domain(FDTD) 방법⁽³⁾으로 분석하였다. 분석에서 사용된 각 물질의 굴절률은 표 1과 같다.

Material	Refractive index
Glass	1.46
SU-8	1.595
NOA-88	1.555

표 1. 각 물질의 굴절률

그림 2는 제안된 센서 시스템 구조에서 입사각의 변화에 따른 반사율을 계산한 결과이다. 여기서 사용된 수치로 632 nm 파장의 가우시안 소스와, 50 nm의 금박막 복소수 유전율 $\epsilon_m = -10.66 + i1.374$, 검출 영역의 굴절률 1.3316를 사용하였다. 라인으로 표시한 부분은 표면 플라즈몬 공명 이론에 따른 계산 결과이고, FDTD 방법으로 계산된 결과는 '+'로 표시하였다. 결과에서 보이는 미세한 차이는 이론에서 사용된 금박막의 유전율과 FDTD에서 모델링된 유전율의 값이 서로 차이를 보이기 때문이다. 그림 3은 실제 검출 영역에서의 굴절률의 변화가 반사율에 얼마나 영향을 주는지를 계산한 결과이다. 굴절률 0.01의 변화 당 공진각이 0.5° 변화를 가진다.

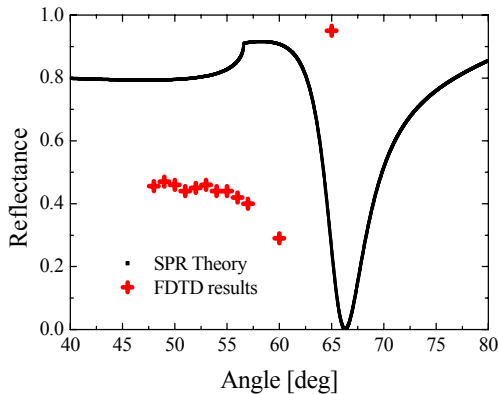


그림 2. 입사각의 변화에 따른 반사율

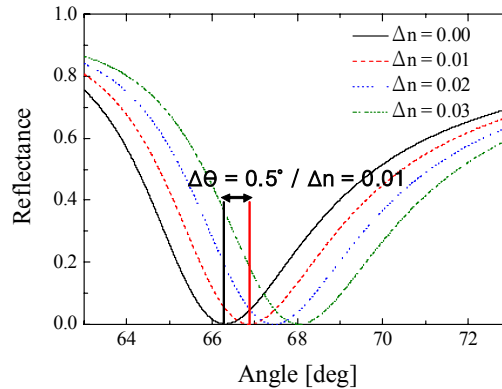


그림 3. 굴절률의 변화에 따른 공진각의 변화

마이크로 표면 플라즈몬 공명 센서 시스템의 구조는 FDTD 방법으로 최적화 될 수 있었고, 센서로 충분히 동작 가능함을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었다. 공진각은 66°로 계산되었고, 측정 영역은 폴리머 도파로의 끝에서부터 30 μm 의 위치로 빛이 도달함을 계산할 수 있었다. 따라서 프리즘 대신 폴리머 도파로를 이용한 마이크로 표면 플라즈몬 공명 센서 시스템을 사용함으로써 차세대 센서 시스템의 소형화, 저가격화, 휴대성 등에 큰 장점을 가질 수 있을 것이다.

1. C. Nylander, B. Lienberg and T. Lind, "Gas detection by means of surface plasmon resonance," Sens. Actuators. 3, 79-88 (1982).
2. T. C. Sum, A. A. Bettiol, J. A. van Kan, and F. Watt, "Proton Beam Writing of low-loss polymer optical waveguides," Applied Physics Letters. 83(9), 1707-1709 (2003).
3. T. O. Korner and W. Fichtner, "Auxiliary differential equation: Efficient implementation in the finite-difference time-domain method," Opt. Lett. 22(21), 1586-1588 (1997).