

In vitro 고감도 생체센서 제작을 위한 나노플라스몬 응용

Nanoplasmonic engineering for in vitro biomedical application

김동현*, 윤순준*

*연세대학교 전기전자공학과

kimd@yonsei.ac.kr

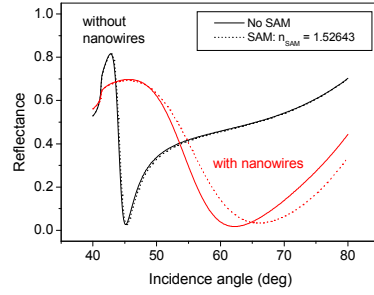
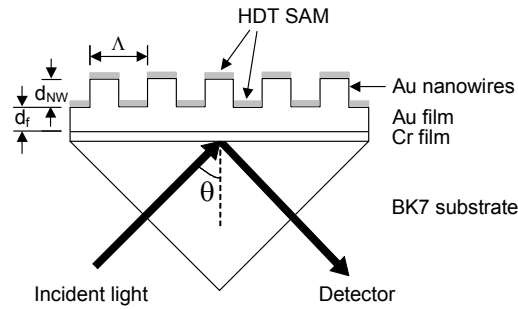
플라즈모닉 현상을 이용한 in vitro 측정의 대표적 응용분야인 표면플라즈몬공명 (Surface Plasmon Resonance: SPR) 현상은 다양한 생체현상을 검출하는 등의 응용분야에 많은 관심을 끌고 있다. 본 연구에서는 이러한 다양한 응용가능 분야를 소개하는 것과 아울러 특히 생체센서의 감도를 향상하는 문제에 대해 논의하고자 한다. SPR 현상은 TM 편광된 빛이 유전체를 통해 금속박막에 입사했을 때 특정 입사각에 대해서 빛이 반사되지 않는 현상을 말한다. 이 현상은 실시간으로 형광마커 같은 레이블링 없이 금속박막 표면에서의 반응만을 효과적으로 관찰할 수 있다. 기존의 SPR 센서는 측정물질의 분자량이 작은 경우에 감도의 한계를 보여 측정에 어려움이 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해서 나노 구조를 통해 나노플라즈모닉 현상을 이용하여 SPR 현상이 나노 입자내에서 국소화 되는 국소표면플라즈몬 (Localized Surface Plasmon: LSP)을 유도하며 측정부분의 필드를 증가시킴으로써 감도를 향상시키는 연구가 보고되고 있다.⁽¹⁾

나노선을 이용한 LSPR 바이오센서 구조에 대한 분석은 엄밀결합파동분석 (Rigorous Coupled Wave Analysis: RCWA) 방식을 사용하였고, 이 방식으로 얻은 결과는 실험적 데이터와 일치하는 것으로 알려져 있다. 나노선을 사용한 SPR 바이오 센서는 직사각형 형태의 Au 나노선이 40 nm 두께의 금박위에 올라간 1차원 어레이 형태이다 (그림 1-(a)). 기판은 BK7이고, 접합을 위해 2nm 크롬 레이어 위에 40 nm 금박이 올라가 있다고 가정하였다. 그림 1-(b)의 결과는 1 nm 두께의 self-assembled monolayer (SAM)이 나노선이 있는 경우와 일반적인 SPR에서의 SPR 특성곡선을 나타낸 것이다. SAM은 1,6-hexanedithiol (HDT)의 균등한 레이어라고 가정하고, 이 물질의 굴절률 $n(\text{HDT}) = 1.52643$ 이다. 계산에 사용된 나노선 SPR의 구조는 volume factor (VF)가 0.78, $d_{\text{NW}} = 20$ nm, $\Lambda = 50$ nm 인 경우에 대해서 실시하였다. 여기서 VF는 1차원 구조에서 fill factor와 같다. SPR 센서의 감도를 정량적으로 분석하기 위해서 나노선이 있는 경우에 공명각의 변화와 일반적인 SPR 공명각의 비로 정의되는 감도향상도 (Sensitivity Enhancement Factor: SEF)를 사용하였다. 그림 1-(b)에 나타난 결과는 나노선을 사용한 23.64 (=7.29 / 0.31)배의 감도의 증가를 나타낸다는 것을 보여준다.

그림 2의 결과는 다양한 VF에 대해서 자계의 크기 ($|H_y|$)를 나타내었다. 필드의 공간적 분포를 표현하기 위해서 Finite Difference Time Domain (FDTD) 방식을 사용하였다. (a) 금속박막만 있을 경우, (b) $\text{VF} = 0.179$, (c) $\text{VF} = 0.5$, (d) $\text{VF} = 0.764$ 인 경우에 대해서 계산하였다. 금속박막만 있는 경우에 비해서 나노선이 있는 구조에서 필드가 국소화되어 있는 것을 쉽게 확인할 수 있다. 그림 3은 $\Lambda = 50$ nm, 100 nm이고 VF가 10%, 50%, 90%인 경우에 대해서 나노선이 존재하는 부분과 그렇지 않은 부분의 단면 필드의 크기를 나타낸 결과이다. 경우에 따라 각 단면에서의 필드의 차이가 있지만 표면에서 필드가 증가하는 것을 볼 수 있다.

현재 이 연구를 기반으로 적절한 공정을 통해 나노선 SPR 바이오센서를 제작하는 연구가 진행중이고, 일반적인 SPR의 감도보다 수배 이상 민감한 센서를 만들 수 있을 것이라 예상된다.

(1) E. Hutter, *et al.*, "Role of substrate metal in gold nanoparticle enhanced surface plasmon resonance imaging," J. Phys. Chem. B **105**, 8-12 (2001).



(a)

(b)

그림 1. (a) 나노선을 이용한 SPR 센서의 개요도 (d_f : 40 nm Au, d_{NW} : Au 나노선 두께, $\lambda = 632.8$ nm),
(b) HDT-SAM 이 결합했을 때 나노구조의 유무에 따른 SPR 특성곡선의 차이

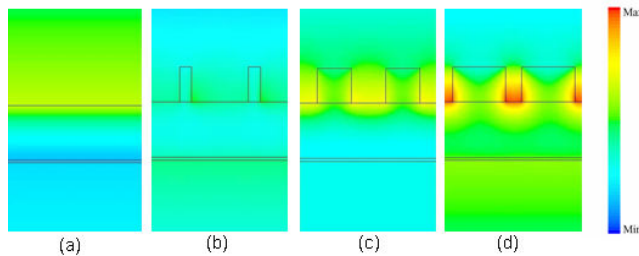


그림 2. 자계 ($|H_y|$)의 공간적 분포 $d_{NW} = 25$ nm, $\Lambda = 50$ nm (a) 금속박막만 있는 경우, 즉 $VF = 0$, (b) $VF = 0.179$, (c) $VF = 0.5$, (d) $VF = 0.764$

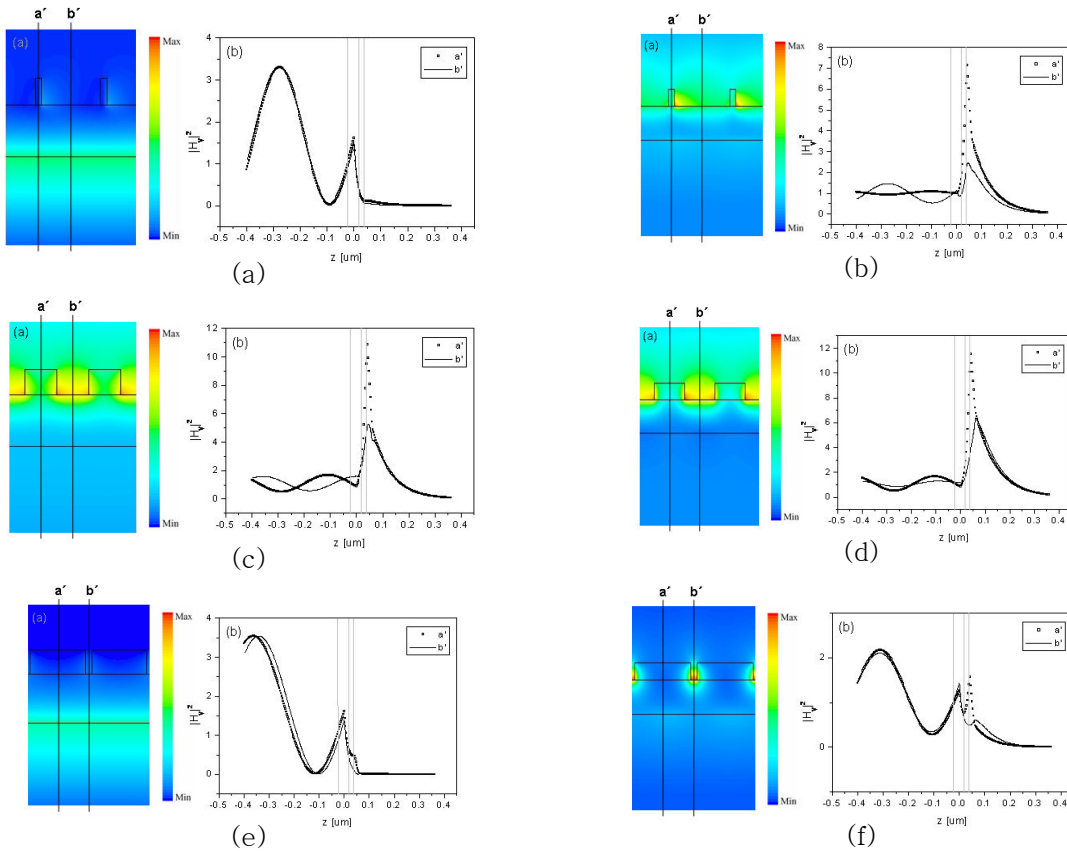


그림 3. 나노선을 사용한 LSPR 구조의 자계 ($|H_y|$)의 크기와 단면에서의 필드 크기 (a) $VF = 10\%$, $\Lambda = 50$ nm, (b) $VF = 10\%$, $\Lambda = 100$ nm, (c) $VF = 50\%$, $\Lambda = 50$ nm, (d) $VF = 50\%$, $\Lambda = 100$ nm, (e) $VF = 90\%$, $\Lambda = 50$ nm, (f) $VF = 90\%$, $\Lambda = 100$ nm