표면 프라즈몬 현상을 이용한 메탄올의 농도 측정

Detection of Methanol concentration using SPR

도용화, 이관수, 박선택, 송석호, 오차환, 김필수
한양대학교 물리학과
Phdo1@hanmail.net

표면 플라즈몬 공명(SPR:Surface Plasmon Resonance) 현상은 금속이나 유전체 박막의 두께 및 광학 계수등의 측정이나 센서로 주로 응용되어 왔다. 특히, 최근에는 SPR을 이용한 광 센서나 광 변조기, 파장필터, 광 스위치 등의 광소자에 대한 연구가 많이 되고 있다 . 본 논문에서는 액체의 농도에 따라 유전 상수가 변하는 것을 이용하여 SPR 광센서가 가능함을 보였다.

표면 플라즈몬은 유전 물질과 금속박막의 경계 면을 따라 전파되는 TM-모드의 전하 밀도 진동이다. 표면 플라즈몬을 여기 시키는 다양한 방법 중에 하나는 소멸 전반사(ATR)를 이용하는 방법으로 장치는 프리즘, 금속박막, 유전물질 등으로 이루어진다(Fig.1). 금속박막의 두께는 광이 투과 할 수 있을 만큼 충분히 얇아야 한다. 입사하는 광의 입사각이 임계각 이상일 경우 표면 플라즈몬을 여기 시키는 특정한 각 이외에는 모두 전반사 하게 된다. 금속박막 표면에 표면 플라즈몬이 여기될 조건은 입사 광의 파벡터 성분 k_x와, 플라즈몬의 전파상수 k_{sp}가 동일할 때이며, 입사각을 θ라 할 때 다음과 같이 주어진다[1].

$$k_x = \frac{w}{c}\sqrt{\varepsilon_p}\sin\theta = k_{sp} = \frac{\omega}{c}\left(\frac{\varepsilon_m \varepsilon_s}{\varepsilon_m + \varepsilon_s}\right)^{\frac{1}{2}}$$

여기서 ε_p, ε_m, ε_s 는 각각 프리즘, 금속박막, 유전체의 유전 상수이다. 반사도(reflectance)의 최소값은 유전 물질과 금속박막의 두께와 굴절율에 의존한다. 따라서 액체(혹은 기체)의 유전 상수는 농도에 의존하므로 반사도를 측정하여 유전체의 농도를 측정할 수 있다.

본 연구에서는 프리즘에 은박막을 459 Å으로 코팅하고 은박막의 보호를 위해 SiO_2층을 31 Å으로 얇게 코팅해 사용하였고 유전체로는 메탄올 수용액을 농도를 변화시키며 사용하였다. 광원은 6328 Å인 He-Ne을 사용하였고, 각 해상도가 $\sim 10^{-3}$인 Rotation-Stage를 이용하여 입사광의 각도를 조절하여 1/100도 간격으로 반사도를 측정하였다(Fig2). 메탄올 수용액의 농도를 0 ~100%까지 변화시키면서 반사도를 측정하고 각각의 데이터에서 반사도가 최소인 점(R(min))을 구하여 메탄올 농도와의 관계를 조사하였다(Fig.3). 또한 이것을이론치와도 비교해 보았다.

Fig.2와 Fig.3에서 볼 수 있듯이 메탄올의 농도가 증가함에 따라 R(min)값이 점차 증가 하다가 농도가 50% 근처를 지남에 따라 다시 감소함을 볼 수 있다. 실험 결과로부터 이 시스템을 사용하여 메탄올 농도 측정시 10^{-2}% 까지의 농도 변화를 측정할 수 있음을 알 수 있었다. 계산값은 메탄올의 농도에 따른 굴절률(n) 변화[2]를 이용해 시뮬레이션한 것으로 메탄올 농도 0%(순수한 물)부터 100% 까지 10%씩 증가시키면서 계산하였다. 실험값이 계산값과 비교해 전체적으로 조금 편향된 경향을 보이고 있지만 이는 실험상의 오차로 생각되며 전체적 경향은 잘 맞는 것으로 생각된다.

본 연구에서 보여 주는 바와 같이 R(min)값의 변화한 정도를 이용해 메탄올 수용액의 농도를 측정할 수 있다. 은박막의 투께와 은박막을 보호하기 위해 코팅한 물질의 최적화를 통해, 그리고 angle sensitivyty 가 뛰어난 장거리 표면 플라즈몬(LRSP)을 이용하면 물질의 농도 변화에 보다 민감한 센서

의 개발도 가능할 것으로 생각된다.

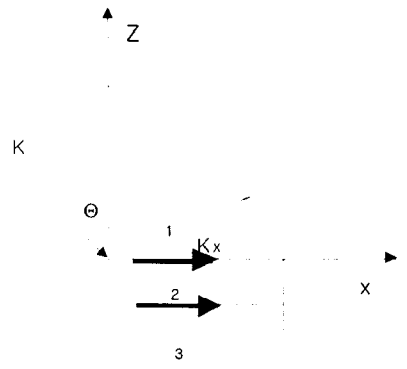

Fig.1 표면 플라즈몬을 여기 시키기 위한 구조.
프리즘(1), 금속박막(2), 유전체(3)

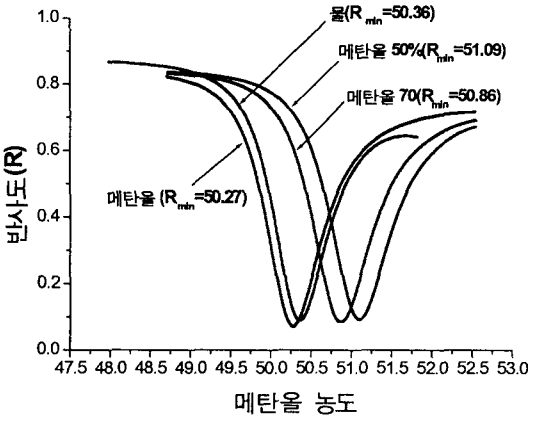

Fig.2 농도 변화에 따른 반사도 그래프.
메탄올의 농도가 변함에 따라 그래프가 이동한다

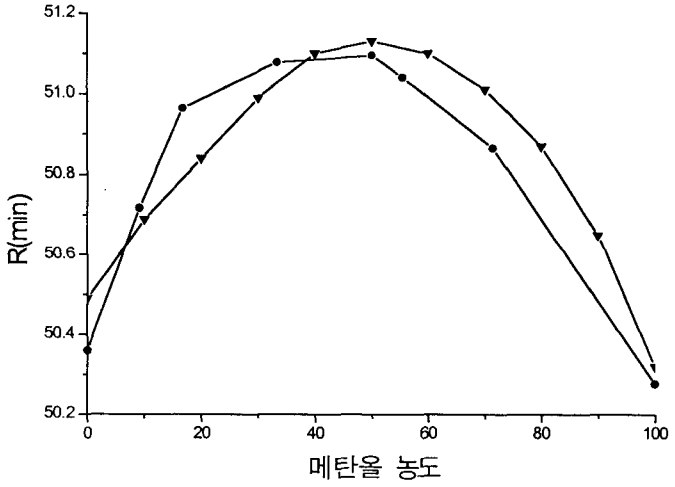

Fig.3 메탄올 농도에 대한 R(min) 값의 변화 그래프.
R(min)은 반사도가 최소가 될 때 광의 입사각이다.
위 그래프에서 삼각형은 계산값이고 점은 실험값이다.

[참고문헌]

[1] S.G.Nelson, K.S.Johnston, S.S.Yee, "High sinsitivity surface plasmon resonance sensor based on phase detection.", Sensors and Actuators B 35-36(1996) 187-191.

[2] David R.Lide, "Handbook of chemistry and physics.", 81st Edition.

[3] Shozo Miwa, Tsuyoshi Arakawa, "Selective gas detection by means of surface plasmon resonance sensors.", Thin Solid Films 281-282 (1996) 466-468.

[4] Koji Matsubara, Satoshi Kawata, Shigeo Minami, "Optical chemical sensor based on surface plasmon measurement.", Applied Optics, Vol.27, No.6, 1988.