

부가층의 두께 차이를 이용한 표면플라즈몬공명 멀티센싱

論 文

55C-10-6

Surface Plasmon Resonance Multisensing Using Thickness Difference of Additional Layer

金榮圭* · 吳明煥** · 李承起†

(Young-Gyu Kim · Myung-Hwan Oh · Seung-Ki Lee)

Abstract - A novel surface plasmon resonance (SPR) multisensing method, which does not require imaging apparatus such as CCD, has been proposed and implemented experimentally. The proposed method is based on the multichannel SPR and the separation of signals by use of additional layers whose thickness is controlled.

SPR signals are influenced by the thickness of sensing layer as well as the optical condition of sensing surface. As the SPR signals from different ligands are usually positioned closely, the reflected light from sensing surface does not provide us with the clear differences of resonance signal depending on the kinds of ligands.

It was found from our experiments that SPR signals from each ligand that is located on the additional layer with different thickness can be separated clearly enough to identify various signals from different ligands. Proposed method with theoretical design and simulation has been verified experimentally by using SiO₂ thin film layer as additional layer.

Key Words : Surface Plasmon Resonance, Multisensing, 부가층

1. 서 론

표면플라즈몬공명(surface plasmon resonance)의 원리를 바탕으로 한 센서는 여러 분야의 다양한 측정에 적용되고 있다. 특히 생물학적인 응용에 있어서 표면플라즈몬공명 기술은 센서표면에서의 생체분자 반응을 실시간으로 측정할 수 있고 생체분자의 탐지를 위해 별도의 형광물질을 필요로 하지 않으며 높은 분해능을 가진다는 점 등에서 다른 방법들과 구분된다[1]. 현대 생물학 분야에서는 다양한 반응물질들을 일렬로 배열하여 각 반응물질들로부터의 서로 다른 신호를 동시에 탐지하기 위한 시스템을 필요로 하고 있으며[2], 이러한 미세배열에 바탕을 둔 분석방법은 그 중요성이 날로 증가하고 있다. 이에 따라 생물학적인 응용에 있어 표면플라즈몬공명 측정방법을 이용하는 경우에도 센서표면의 여러 가지 반응물질을 동시에 측정해 내는 것이 필요한데, 이러한 측정방법을 표면플라즈몬공명 멀티센싱(multisensing)이라고 한다.

현재 사용되고 있는 표면플라즈몬공명 멀티센싱의 방법은 고정된 파장에서 단색광의 광원을 사용하여 센서표면으로부터 반사된 빛을 CCD로 받아들이고 각 부분으로부터 받아들이는 빛의 반사도를 명암의 정도로 판별하는 방식을 사용하고 있다[3]. 센서표면에서 어떤 반응이 발생하면 CCD의 각 부분

으로부터 미세한 명암의 변화가 생기게 되는데 이 변화를 측정하여 센서표면에서 반응이 진행되는지의 여부를 판단하게 되는 것이다.

본 논문에서 제안하는 표면플라즈몬공명 멀티센싱의 방법은 CCD와 같은 영상장치를 사용하지 않고 분광기(spectrophotometer)나 광검출기(photodetector)와 같은 일반적인 표면플라즈몬공명 측정장치를 사용한다. 그리고 센서표면의 각 부분으로부터 서로 다른 신호를 동시에 측정하기 위해 센서표면과 금 박막층 사이에 삽입한 부가층(additional layer)의 서로 다른 두께 차이를 이용한다. 즉 금 박막층 위에 서로 다른 두께를 가진 부가층을 증착하고 그 위에 다시 서로 다른 반응물질을 고정하여 각 반응 물질들로부터의 신호가 부가층 두께 차이에 의해 서로 분리되도록 한다. 서로 다른 두께를 갖는 박막층을 증착하여 제안한 방법을 실험적으로 구현하고 이로부터 신호의 분리를 측정하여 분석한다.

2. 부가층을 적용한 표면플라즈몬공명 멀티센싱 구조

그림 1(a)에서와 같이 여러 가지 종류의 리간드(ligand)로 구성된 멀티채널 표면플라즈몬공명은 각 리간드에서의 광학적인 상태가 서로 다르다. 즉 금 표면까지 포함하여 총 네 가지의 서로 다른 굴절률을 갖는 상태가 존재하기 때문에 표면플라즈몬공명이 발생하는 각도나 파장의 위치가 서로 다른 곳에서 나타날 것으로 예측된다. 그림 1(b)는 (a)의 구조에 대해 예상 가능한 측정결과로 실선은 파장조절법에서 CCD 카메라를 이용하지 않는 일반적인 표면플라즈몬공명 장치를 이용하여 분석대상물(analyte)과의 반응 전에 측정된 결과가

† 교신저자, 正會員 : 단국대학교 전기공학과 교수
E-mail : skilee@dku.edu

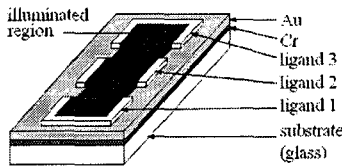
* 正會員 : 삼성전자 반도체 총괄 연구원

** 正會員 : 단국대학교 전자컴퓨터공학부 교수

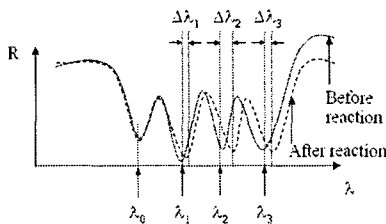
接受日字 : 2006年 6月 13日

最終完了 : 2006年 7月 24日

다. 리간드의 표면플라즈몬공명 파장은 각각 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 로 표시할 수 있고, λ_0 는 금 표면에 의한 신호이다. 분석대상물이 리간드와 반응하면 서로 다른 리간드에서 나타나는 굴절률의 변화는 모두 다르고 이는 각각 $\Delta\lambda_1, \Delta\lambda_2, \Delta\lambda_3$ 의 표면플라즈몬공명 파장이동으로 나타난다. 굴절률의 변화는 리간드-분석대상물간의 반응으로부터 기인하기 때문에 금 표면에서의 표면플라즈몬공명 파장은 반응전 후에 파장변화가 없는 것으로 나타난다. 이러한 결과에 대한 예측을 통해 멀티채널의 구조가 표면플라즈몬공명 멀티센싱에 쉽게 응용될 수 있을 것으로 예상할 수 있다. 그러나 실제 측정결과는 이와는 다른 양상으로 나타난다.



(a) 개략적인 구조도
(a) schematic structure



(b) 분석대상물과 리간드 간의 반응 전후에 예상되는 결과
(b) expected results before and after the reaction between analytes and ligands

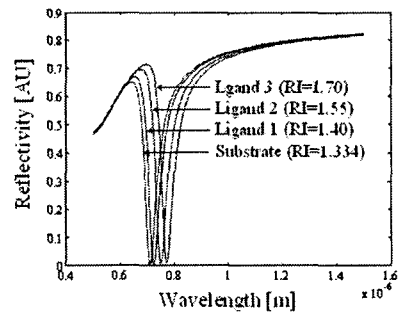
그림 1. 부가층을 적용하지 않은 표면플라즈몬공명 멀티센싱
Fig. 1. Surface plasmon resonance multisensing without additional layers

Fresnel 반사모델[4]을 사용해 그림 1(a)와 같이 금 표면 위에 놓인 각각 다른 세 가지의 리간드에 대한 측정결과를 계산한 결과가 그림 2에 나타나 있다. 세 가지 리간드들의 두께는 10nm로 모두 동일하고 굴절률은 각각 1.40, 1.55, 1.70으로 매우 크게 차이가 난다고 가정하였으며, 70도의 입사각에서 파장조절법을 사용하여 공명신호를 측정하였다. 그림 2(a)는 각각 서로 다른 세 가지 리간드들의 표면플라즈몬공명 신호를 보여준다. 굴절률이 1.40인 리간드 1의 표면플라즈몬공명 파장은 722nm이고, 1.55인 리간드 2의 경우 748nm, 1.70인 리간드 3의 경우 771nm 그리고 금 표면의 경우에는 710nm로 나타났으며, 이로부터 굴절률의 차이를 매우 크게 주어도 각 리간드간의 신호들이 크게 떨어지지 않는다는 것을 알 수 있다.

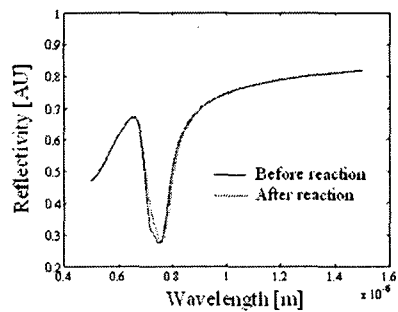
여기서 표면은 유리기판과 2nm의 크롬, 50nm의 금, 10nm의 리간드 그리고 마지막으로 물이 올려져 있는 것으로 가정하였다. 그림 2(a)는 각각의 리간드에 대해 독립적으로 표면플라즈몬공명을 측정할 계산결과이다. 그림 1(a)의 구조를 이용

하여 멀티센싱으로 측정하기 위해 세 가지 리간드에 동시에 입사광을 비추고 그로부터의 반사광을 측정한다. 이때 각 리간드로부터의 신호들은 그림 2(a)에서와 같이 서로 조밀하게 위치하므로, 실제로 관찰하게 되는 신호는 4가지 다른 신호들이 모두 합쳐진 형태로 나타나 그림 2(b)의 실선과 같이 각각의 곡선들을 구분할 수 없게 된다. 또한 그림 1(a)의 구조에서 리간드에 어떤 분석대상물이 결합하여 반응이 발생한 후의 굴절률 변화는, 리간드 1은 1.4에서 1.45로, 리간드 2는 1.55에서 1.6으로, 리간드 3은 1.7에서 1.75로 각각 나타난다고 가정하였다. 실제로 이러한 수치만큼 크게 변하지 않으나 실험시 변화의 양상을 극대화시킨 상태에서 측정하기 위하여 0.05의 변화값을 가정하였다. 센서표면 위에서 반응이 진행된 후 그림 2(b)의 점선과 같은 형태로 신호의 이동이 나타나는데, 역시 마찬가지로 하나의 곡선으로 합쳐져서 나타나기 때문에 각각의 신호를 구분할 수 없다.

위에서 본 바와 같이 각각의 리간드로부터 표면플라즈몬공명 신호 및 그 변화를 명확하게 관찰하기 위해서는 각 리간드에서 일어난 반사곡선들이 서로 구별할 수 있을 만큼 충분히 분리되어 있어야 한다. 그러나 그림 1(a)에서와 같은 구조로 측정된 결과는 그림 2(a)와 같이 매우 조밀하게 나타나기 때문에 이것을 동시에 측정하면 각각의 리간드로부터 일어난 곡선들이 그림 2(b)와 같이 하나로 겹쳐지게 되어 결국은 서로 구분할 수 없게 되는 것이다. 따라서 이러한 구조에서는 각 리간드에서 발생하는 독립적인 변화를 측정할 수 없기 때문에 멀티센싱이 불가능한 구조라고 할 수 있다.



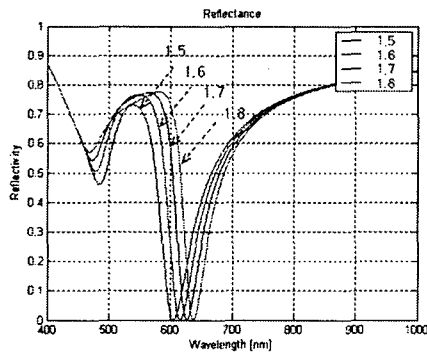
(a) 각각의 리간드를 독립적으로 측정된 결과
(a) results when each ligands are measured separately



(b) 각각의 리간드를 동시에 측정된 결과
(b) results when all the ligands are measured simultaneously

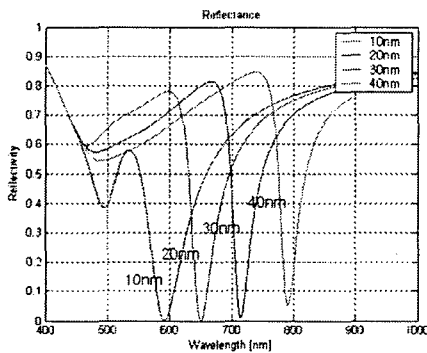
그림 2. 부가층을 적용하지 않았을 때의 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Simulation results without additional layers

앞서 언급한 그림 1(a)의 구조에서와 같이 단순히 여러 종류의 리간드를 동시에 놓고 측정한다고 해서 표면플라즈몬공명 멀티센싱이 가능하게 되는 것은 아니라는 사실을 계산을 통해 확인하였다. 표면플라즈몬공명 신호는 물질의 굴절률뿐만 아니라 분석대상물 아래에 위치하는 박막의 두께 차이에 의해서도 영향을 받는다[5]. 그림 3(a)에서와 같이 굴절률의 변화를 0.1 단위로 준 결과와 그림 3(b)에서와 같이 부가층의 두께를 10nm 단위로 준 결과를 비교해보면 부가층의 두께 차이에 의해 각 리간드에서 나타나는 신호의 분리가 더 큰 영향을 받는 것을 볼 수 있다. 따라서 그림 4의 구조와 같이 기관 위에 두께 차이를 갖는 부가층을 증착함으로써 여러 개의 신호가 조밀하게 모여서 분리되지 않는 문제를 해결할 수 있다. 기관 위에 추가로 삽입된 층은 그림 4에서와 같이 각각 10nm, 20nm, 30nm의 다른 두께를 가지는 Ta₂O₅로 구성되어 있으며, 그 위에 각각 다른 리간드를 위치시키면 부가층의 두께에 의해 각 리간드에서의 신호들이 구분 가능한 만큼 충분히 분리되게 된다.



(a) 리간드의 굴절률 변화에 따른 공명파장의 변화

(a) resonant wavelength variation by refractive index change of ligands



(b) 부가층의 두께에 따른 공명파장의 변화

(b) resonant wavelength variation by thickness change of additional layers

그림 3. 두가지 변수에 의한 공명파장의 변화 비교

Fig. 3. Comparison of resonant wavelength variation depending on two variables

부가층의 두께 차이를 이용한 멀티센싱 방법을 검증하기 위하여 제안한 그림 4의 구조에 대해 시뮬레이션을 수행하였

다. 그림 5(a)는 서로 다른 두께로 증착된 부가층에 의해 표면플라즈몬공명 신호가 분리된 결과를 보여준다. 그림 4에서와 같이 각각 10nm, 20nm, 30nm의 다른 두께를 가진 Ta₂O₅로 서로 다른 세 개의 채널이 있다. 세 가지의 서로 다른 리간드들은 각각의 채널 위에 놓이게 되는데, 리간드 1은 10nm의 Ta₂O₅에, 리간드 2는 20nm의 Ta₂O₅ 위에 그리고 리간드 3은 30nm의 Ta₂O₅ 위에 각각 놓이게 된다.

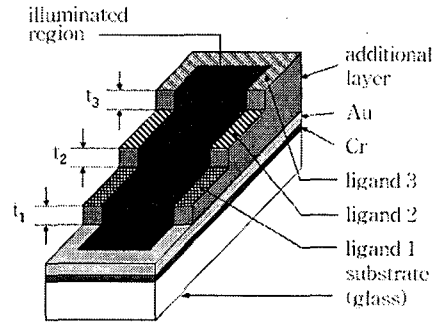
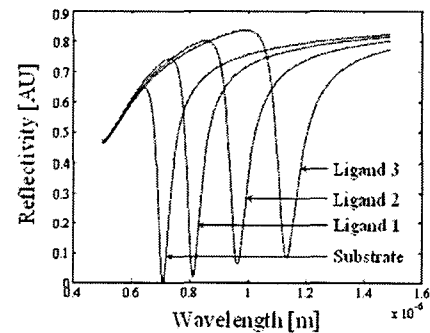


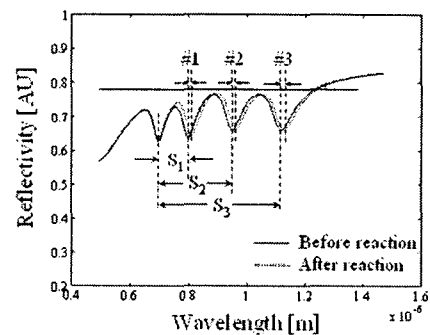
그림 4. 부가층에 의해 두께 차이를 준 멀티채널 구조.

Fig. 4. Multichannel structure varying thickness of additional layers



(a) 각각의 리간드를 독립적으로 측정 한 결과.

(a) results when each ligands are measured separately



(b) 각각의 리간드를 동시에 측정 한 결과.

(b) results when all the ligands are measured simultaneously

그림 5. 부가층을 적용했을 때의 시뮬레이션 결과.

Fig. 5. Simulation results with additional layers

그림 5(a)는 각각의 리간드들이 독립적으로 측정되었을 때의 결과이다. 각각의 리간드들의 굴절률은 그림 1의 구조에서와 같이 동일하게 각각 1.40, 1.55, 1.70으로 가정하였다. 그림 2(a)의 결과와 비교해 보면 각 리간드들의 신호가 크게 분리된 것을 볼 수 있는데, 이것은 부가층으로 사용한 Ta₂O₅를 추가시킴으로 인해 그림 3(b)에서와 같이 각 부가층의 두께에 비례해 표면플라즈몬공명 파장이 분리되었기 때문이다.

그림 4와 같은 구조에서 모든 리간드들을 동시에 측정하면 그림 5(a)와 같이 각 리간드간의 신호가 충분히 분리되어 있기 때문에 이 리간드들을 한꺼번에 측정하여 4개의 신호가 하나로 더해지더라도 그림 5(b)의 실선과 같이 각 리간드의 공명값을 독립적으로 유지할 수 있게 된다. 이 때 센서 표면에서 리간드와 분석대상물과의 반응에 의한 굴절률 변화는, 리간드 1은 1.40에서 1.45로, 리간드 2는 1.55에서 1.60로 그리고 리간드 3은 1.70에서 1.75로 가정하였고 반응 후의 표면플라즈몬공명 신호는 그림 5(b)의 점선과 같은 결과를 얻게 된다. 반응 후에도 각 리간드의 표면플라즈몬공명 신호는 여전히 분리되어 있으며, 이 값의 이동을 측정하게 되면 그림 4와 같이 제안한 다층 구조는 동시에 여러 가지의 리간드를 실시간으로 측정할 수 있는 표면플라즈몬공명 멀티센싱이 가능해진다. 사용된 변수와 값들은 표 1에 정리하였다.

표 1. 사용된 변수들.

구분		부가층 미적용		부가층 적용	
		반응전	반응후	반응전	반응후
공통사항		금 (50nm), 크롬 (2nm), 유리기판 (0.5mm)			
채널	1	리간드 1	10nm		
		Ta ₂ O ₅	-	10nm	
	2	리간드 2	10nm		
		Ta ₂ O ₅	-	20nm	
	3	리간드 3	10nm		
		Ta ₂ O ₅	-	30nm	
굴절률	리간드 1	1.40	1.45	1.40	1.45
	리간드 2	1.55	1.60	1.55	1.60
	리간드 3	1.70	1.75	1.70	1.75
	물	1.334	1.334	1.334	1.334
계산된 결과		그림 2(b)		그림 5(b)	
		실선	점선	실선	점선

3. 박막층을 적용한 표면플라즈몬공명 멀티센싱 소자의 제작

그림 4에서 제안한 구조를 바탕으로 부가층의 두께차이를 이용한 표면플라즈몬공명 멀티센싱 소자를 제작하였다. 하나의 센서를 나타낸 구조를 측면에서 보게 되면 그림 6과 같다. 하나의 센서는 25.4mm의 정방형 크기이고, 하나의 센서를 6개로 나눈 각 채널의 영역에는 서로 다른 두께를 갖는 부가층을 증착하도록 제작하였고, 그 폭은 4.2mm로 모두 동일하다. 또한 채널 사이의 경계부분에 50μm의 공백을 두었는데 이는

동시에 두 개의 채널을 멀티센싱 하는 과정에서 광학계를 통과한 광원이 양 채널의 중앙부분에 정렬될 수 있도록 하기 위해 육안으로 구별 가능한 만큼의 폭을 공백으로 둔 것이다. 좌측의 채널 1부터 우측의 채널 6까지 모두 6개의 영역으로 나뉘고, pyrex 재질의 유리기판 위의 전 채널에 크롬과 금 박막을 증착한 것은 모두 동일하다. 계산에서는 부가층으로 Ta₂O₅를 적용하였으나 실제 제작에서는 증착 및 두께 조절이 좀 더 용이한 SiO₂를 사용하였고 그 효과는 기본적으로 동일하다. 각 채널 간에 부가층의 두께에 대한 차이점을 살펴보면 채널 1과 2에는 SiO₂가 없고, 채널 3과 4에는 40nm의 SiO₂를 증착하였으며 채널 5와 6에는 80nm의 SiO₂를 증착하였다. 그리고 세 가지 다른 두께의 부가층을 적용한 채널 중에서 각각 한 곳에 해당하는 채널 2, 3, 5의 영역에만 Si₃N₄ 10nm를 증착하는 구조로 설계하였다. 모든 박막의 증착에는 스퍼터링을 이용하였다.

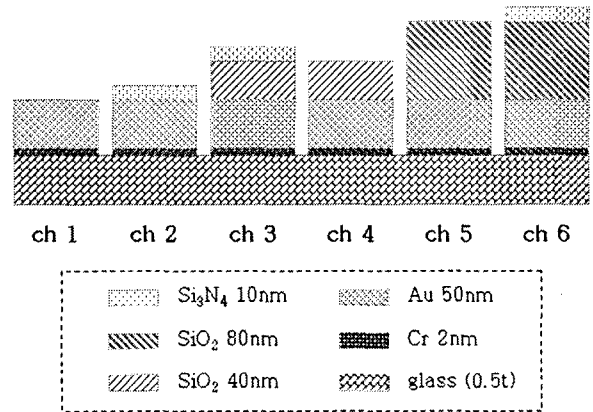


그림 6. 각도조절법으로 측정된 센서구조. Fig. 6. Cross-section of measured sensor by angle modulation

최종 완성된 센서는 그림 7과 같다. 그림에서 (a)와 (b)는 각 채널을 순차적으로 배열한 것이고 (c)와 (d)는 2x3의 형태로 배열한 것으로서 단지 여러 채널들을 동시에 측정할 수 있도록 배치를 조절한 것이다.

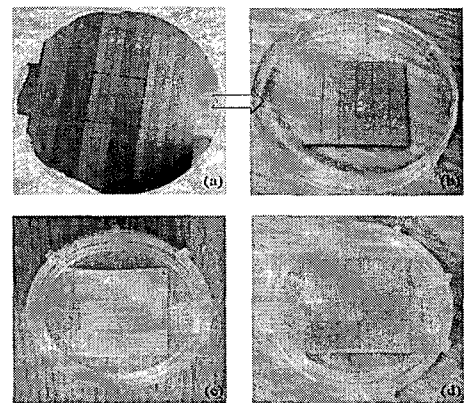


그림 7. 완성된 센서. Fig. 7. Fabricated sensors

4. 측정 결과 및 해석

각도조절법으로 표면플라즈몬공명 멀티센싱을 측정하기 위해 그림 8과 같이 광학계를 구성하였다. 광원으로는 633nm의 파장을 갖는 He-Ne 레이저를 사용하였으며 감쇠렌즈(attenuator)를 사용하여 입사광의 밝기를 적절히 조절하였다. 그리고 파장변환판(편광판)을 사용하여 TM모드의 빛을 프리즘으로 입사시키고 센서표면에서 반사된 빛을 광검출기로 입사시켜 프리즘에서 반사되어 나오는 광량을 디지털화하여 측정하였다. 또한 Labview를 통해 스테이지에 연결된 모터를 조작하여 프리즘이 올려져 있는 스테이지를 0.1도 간격으로 움직여가며 전 영역의 입사각(3~87도)에 대해 반복 측정하는 방식을 사용하였다. 센서의 여러 채널을 옮겨가며 측정하기 위해 스테이지 위에 프리즘을 수직방향으로 움직일 수 있는 미세조절 스테이지를 추가로 장착하였다. 이 후 마찬가지로 순차적으로 각 채널을 측정하고, 두 개의 채널을 동시에 측정하는 순으로 실험을 진행하였다.

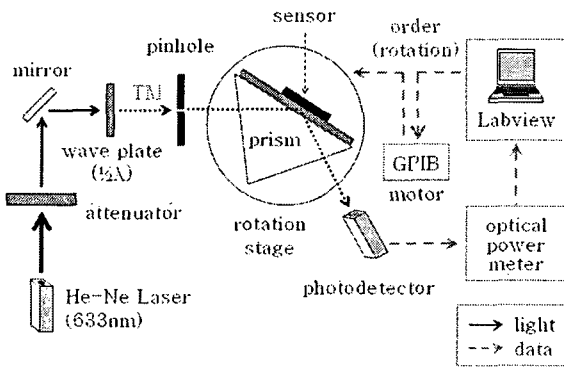


그림 8. 각도조절법의 광학계 구성 개념도.
Fig. 8. Optical measurement setup for angle modulation

여러 차례의 실험을 진행하며 다양한 센서 표면의 상태에 대해 측정을 진행하였는데 그림 9(a)~(f)는 각각 그림 6의 채널 1~6을 독립적으로 측정한 결과이다.

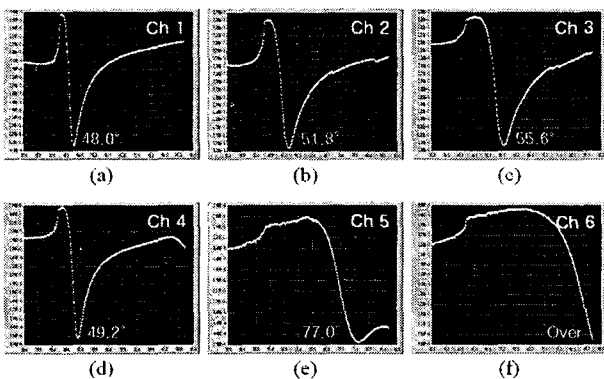


그림 9. 각각의 채널을 독립적으로 측정한 결과.
Fig. 9. Measured results when each channels are measured separately

채널 1, 2를 측정한 그림 9(a)와 (b)를 비교해보면 금 위에 증착되어 있는 Si_3N_4 의 증착여부에 따라 각각 48.0도와 51.8도에서 공명신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 9(a)와 같이 나타난 채널 1의 구조에 Si_3N_4 를 증착함으로써 공명신호가 3.8도 이동한 것으로 해석할 수 있다.

두 번째로 채널 2를 측정한 그림 9(b)와 채널 3을 측정한 그림 9(c)를 비교해보면 금 위에 Si_3N_4 를 증착한 구조는 동일하지만 부가층인 40nm의 SiO_2 증착여부에 따라 각각 51.8도와 55.6도에서 공명신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 9(b)와 같이 나타난 채널 2의 구조에 부가층인 SiO_2 를 삽입함으로써 공명신호가 3.8도 이동한 것으로 해석할 수 있다.

세 번째로 채널 4를 측정한 그림 9(d)와 채널 3을 측정한 그림 9(c)를 비교해보면 그림 9(a)와 (b)와 같이 나타난 채널 1, 2의 구조에 각각 40nm의 SiO_2 층이 추가되어 있는 구조이다. 그림 9(d)와 (c)를 비교해보면 금과 SiO_2 위에 증착되어 있는 Si_3N_4 의 증착여부에 따라 각각 49.2도와 55.6도에서 공명신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 9(d)와 같이 나타난 채널 4의 구조에 Si_3N_4 를 증착함으로써 공명신호가 6.4도 이동한 것으로 해석할 수 있다. 또한 앞서 비교한 그림 9(a)와 (b)에서 나타난 공명신호의 이동폭보다 약 2배 크게 나타나는데 이것은 부가층인 40nm의 SiO_2 를 삽입함으로써 신호의 분리폭이 커진 것으로 해석할 수 있다.

네 번째로 채널 4를 측정한 그림 9(d)와 채널 5를 측정한 그림 9(e)를 비교해보면 SiO_2 의 두께가 각각 40nm, 80nm인 차이점을 가지고 있으며 증착높이에 따라 각각 49.2도와 77.0도에서 공명신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이것은 그림 9(e)와 같이 나타난 채널 5의 구조가 그림 9(d)와 같이 나타난 채널 4의 구조에 비해 SiO_2 의 두께가 두꺼워짐에 따라 공명신호가 27.8도 이동한 것으로 해석할 수 있고 증착높이가 두꺼워질수록 공명각이 급격히 증가한 것으로 해석할 수 있다. 또한 그림 9(f)와 같이 채널 5의 구조에 추가로 Si_3N_4 를 증착할 경우 입사각의 전범위(3~87도)에서 공명각이 사라지는 것을 볼 수 있다.

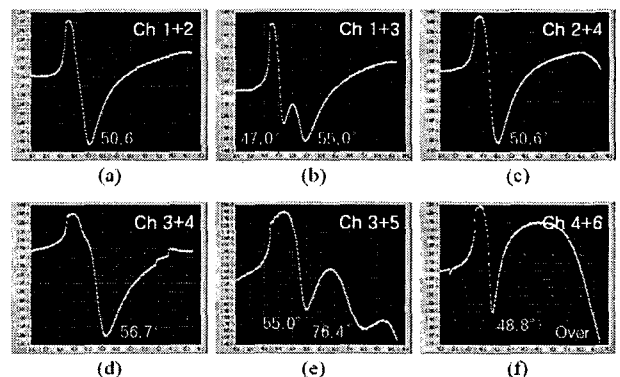


그림 10. 두 개의 채널을 멀티센싱한 결과.
Fig. 10. Measured multisensing results for two different channels

그림 10(a)~(f)는 그림 6과 같은 구조의 센서에서 각각의 채널을 독립적으로 측정한 그림 9와 달리 두 개의 채널을 멀

티센싱한 결과이며 개별적으로 채널을 측정할 때 매 각도에 서 나타나는 반사광의 세기를 산술평균한 값과도 동일하다.

그림 10(a)는 채널 1, 2를 멀티센싱한 결과인데 그림 9(a)와 (b)에서와 같이 공명각의 차이가 3.8도로 매우 근접하게 위치하기 때문에 채널 1, 2를 멀티센싱하면 각각의 독립적인 공명각은 나타나지 않고 그림 10(a)에서와 같이 50.6도에서 하나로 합쳐져서 나타나게 된다.

두 번째로 그림 10(b)는 채널 1, 3을 멀티센싱한 결과인데 채널 1, 3의 공명각이 각각 48.0도와 55.6도로 채널 1, 2의 공명각 차이와 비교하면 두 배이상 크게 벌어진 7.6도의 공명각 차이를 나타내기 때문에 채널 1, 3을 멀티센싱하면 그림 10(b)에서와 같이 각각의 독립적인 공명각이 유지된 상태로 합쳐져서 나타나게 된다.

세 번째로 그림 10(c)는 채널 2, 4를 멀티센싱한 결과인데 그림 9(b)와 (d)에서와 같이 공명각의 차이가 2.6도로 역시 근접하게 위치하기 때문에 채널 2, 4를 멀티센싱하면 각각의 독립적인 공명각은 나타나지 않고 그림 10(c)에서와 같이 50.6도에서 하나로 합쳐져서 나타나게 된다.

네 번째로 그림 10(d)는 채널 3, 4를 멀티센싱한 결과인데 그림 9(c)와 (d)에서와 같이 공명각의 차이가 6.4도로 다소 근접하게 위치하기 때문에 채널 3, 4를 멀티센싱하면 각각의 독립적인 공명각은 나타나지 않고 그림 10(d)에서와 같이 56.7도에서 하나로 합쳐져서 나타나게 된다.

다섯 번째로 그림 10(e)는 채널 3, 5를 멀티센싱한 결과인데 채널 3, 5의 공명각이 각각 55.6도와 77.0도로 21.4도의 상당한 공명각 차이를 나타내기 때문에 채널 3, 5를 멀티센싱하면 그림 10(e)에서와 같이 각각의 독립적인 공명각이 유지된 상태로 합쳐져서 나타나게 된다. 끝으로 그림 10(f)는 채널 4, 6을 멀티센싱한 결과이며 채널 6의 공명각은 측정범위를 벗어나 있다.

특히 여기서 중점적으로 비교하고자 하는 것은 그림 10(a)와 (b)의 결과이다. 그림 6의 구조에서 금이 증착된 채널 1과 금 위에 Si_3N_4 가 증착된 채널 2를 동시에 측정한 그림 10(a)의 경우에는 두 개의 공명신호가 분리되지 않고 50.6도에서 하나로 합쳐져서 나타났다. 그러나 그림 6의 구조에서 금이 증착된 채널 1과, 금 위에 Si_3N_4 가 증착되고 그 사이 층에 SiO_2 가 부가층으로 증착된 채널 3을 동시에 측정한 그림 10(b)의 경우에는 SiO_2 부가층의 삽입으로 인해 앞서 그림 10(a)와는 달리 각각의 독립적인 신호가 분리되어 나타났다. 즉 금과 Si_3N_4 가 각각 서로 다른 리간드에 해당한다고 가정하면 그림 10(b)의 경우처럼 SiO_2 부가층의 삽입에 의해 이러한 멀티센싱이 가능해짐을 실험적으로 입증하는 결과라고 할 수 있다. 이는 본 논문에서 제안한 부가층의 두께 차이를 이용한 표면플라즈몬공명 멀티센싱 방법이 실제로 적용가능한 방법임을 의미한다.

5. 결 론

본 연구에서는 부가층의 두께 조절을 통해, 표면플라즈몬공명 멀티센싱에 통상적으로 사용하는 CCD를 사용하지 않고

일반적인 표면플라즈몬공명 측정장치인 광검출기나 분광기를 사용하는 표면플라즈몬공명 멀티센싱 방법을 제안하였다.

Fresnel 반사모델에 근거해 센서의 다층구조를 모델링하고 이로부터 시뮬레이션 과정을 통해 다층구조에 적용되는 박막층 및 부가층의 두께와 굴절률의 최적화 값을 찾아 센서를 설계 및 제작하였다. 부가층으로는 20~80nm 두께의 SiO_2 박막을 이용하였으며 박막의 두께 차이를 이용한 멀티채널 구조를 제작하여 실험한 결과 40nm의 SiO_2 박막을 증착한 구조에서 표면플라즈몬공명 멀티센싱의 가능성을 확인할 수 있었다.

리간드로 가정한 박막층의 두께가 두꺼워지고 굴절률이 높아질수록 공명파장이나 각도가 증가하였고, 또한 부가층의 증착 여부나 증착 두께에 따라 공명신호가 이동하는 것을 확인하였다.

각도조절법으로 금 표면과 금 표면상에 Si_3N_4 를 증착하고 또 다른 채널로서 금 표면상에 부가층인 SiO_2 를 증착하여 측정한 결과는 부가층인 SiO_2 에 의해 각각의 공명신호가 분리되어 나타나는 것을 보여주고 있다.

따라서 이러한 실험 결과를 통해 CCD와 같은 부가적인 영상소자를 이용하지 않고 일반적인 표면플라즈몬공명 측정장치를 사용하는 방법으로 부가층의 두께 조절에 의해 표면플라즈몬공명 멀티센싱이 가능함을 확인하였다. 본 연구 결과는 향후 DNA 센서와 같은 바이오센서의 특성 측정에 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] V. Silin and A. Plant, "Biotechnological applications of surface plasmon resonance," *Tibtech*, vol. 15 pp. 353-359, 1997.
- [2] T. O. Joos, D. Stoll and M. F. Templin, "Miniaturised multiplexed immunoassays," *Current Opinion in Chemical Biology*, vol. 6, pp. 76-80, 2001.
- [3] M. J. O'Brien, V. H. Perez-Luna, S. R. J. Brueck and G. P. Lopez, "A surface plasmon resonance array biosensor based on spectroscopic imaging," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 16, pp. 97-108, 2001.
- [4] M. Taya, *Electronic Composites*, Cambridge University Press, 2004.
- [5] K. S. Johnston, *Characterization of thin films using surface plasmon resonance*, Master Thesis, University of Washington, 1995.

저 자 소 개



김 영 규 (金 榮 圭)

1977년 1월 1일생. 2004년 단국대학교 전자공학과 졸업(학사), 2006년 동대학원 전자컴퓨터공학과 졸업(석사), 현재 삼성전자 반도체 총괄 연구원.

Tel : 02-709-2579

Fax : 02-795-8771

E-mail : kimyk@dku.edu



오 명 환 (吳 明 煥)

1943년 6월 10일생. 1965년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사), 1972년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1979년 폴사바티르대 졸업(박사). 1967년~2001년 한국과학기술원(KIST) 부원장, 2002년~현재 단국대학교 전자컴퓨터공학부 교수.

Tel : 02-709-2700

Fax : 02-709-2925

E-mail : mhoh@dku.edu



이 승 기 (李 承 起)

1963년 5월 15일생. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사), 1988년 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박), 1992년~1993년 일본 Tohoku 대학교 기계전자 공학과 특별연구원 (JSPS fellow), 2003~2004년 미국 Univ. of Washington Center for Intelligent Materials and Systems 방문교수, 1994년~현재 단국대학교 전기공학전공 교수.

Tel : 02-709-2785

Fax : 02-795-8771

E-mail : skileec@dku.edu