(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2011년08월01일
(11) 등록번호 10-1052504
(24) 등록일자 2011년07월22일

(51) Int. Cl.
G01N 21/55 (2006.01) *G01N 21/25* (2006.01)
G01N 21/00 (2006.01) *G01N 33/50* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0119075
(22) 출원일자 2008년11월27일
심사청구일자 2008년11월27일
(65) 공개번호 10-2010-0060475
(43) 공개일자 2010년06월07일
(56) 선행기술조사문헌
JP10267841 A*
US20090141376 A1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국과학기술연구원
서울 성북구 하월곡동 39-1
(72) 발명자
이경석
서울특별시 종로구 부암동 237-8
김원목
서울특별시 노원구 중계1동 360-15 건영3차아파트 310-201
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
김 순 영, 김영철

전체 청구항 수 : 총 15 항 심사관 : 심재만

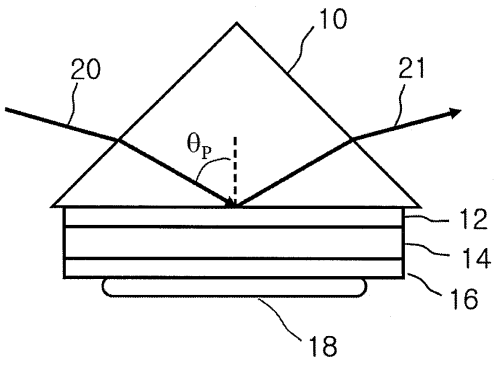
(54) 고 분해능 표면 플라즈몬 공진 센서 및 그것을 이용한 센서시스템

(57) 요 약

신호빔이 입사되어 소산장을 형성하는 광 전달부; 및 상기 형성된 소산장에 의해 표면 플라즈몬을 여기시키고, 표면 플라즈몬 공진을 일으키는 표면 플라즈몬 여기부를 포함하며, 상기 표면 플라즈몬 여기부의 금속층 사이에 유전체 층이 삽입되어 있고, 분석의 대상에 의해 표면 플라즈몬 공진 특성이 변하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서가 개시된다.

본 발명의 일 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서를 사용하면, 날카로운 공진곡선과 국부전기장 증진효과에 의해 주변환경의 굴절율 변화, 특히 금속층 표면부에 인접한 국소환경변화에 대한 분해능이 월등히 향상됨은 물론 센서의 동적영역이 확장되고 열, 화학 및 기계적 안정성이 현저히 개선되는 이점이 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

이택성

서울특별시 성북구 하월곡동 226 월곡래미안 루나 밸리 107-201

정병기

서울특별시 송파구 송파2동 삼익맨션 209-1103

특허청구의 범위

청구항 1

표면 플라즈몬 공진 센서에 있어서,

신호빔이 입사되어 소산장을 형성하는 광 전달부;및

상기 형성된 소산장에 의해 표면 플라즈몬을 여기시키고, 표면 플라즈몬 공진을 일으키는 표면 플라즈몬 여기부를 포함하되,

상기 표면 플라즈몬 여기부는,

상기 광 전달부에 인접하여 광학적으로 연결된 하부 금속층;

상기 하부 금속층에 광학적으로 연결된 유전체 도파로층; 및

상기 유전체 도파로층에 광학적으로 연결된 상부 금속층을 포함하고,

상기 유전체 도파로층은 상기 하부 금속층을 보호하고 상기 하부 및 상부 금속층의 상대적 두께 비의 제어 범위를 확대시키며, 상기 광 전달부의 굴절률 이상의 굴절률을 가지며,

Ag가 함유된 상기 하부 금속층의 두께를 Au가 함유된 상기 상부 금속층의 두께에 비해 상대적으로 증가시키며, 상기 표면 플라즈몬 공진 센서의 분석의 대상에 의해 표면 플라즈몬 공진 특성이 변하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 신호빔은 상기 광 전달부 및 표면 플라즈몬 여기부의 계면에서 전반사되는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 4

삭제

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 표면 플라즈몬 공진 특성은 상기 신호빔의 반사도의 세기 변화, 위상 변화, 공진 각도의 변화 및 공진 파장의 변화 중 하나 이상을 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 광 전달부는,

상기 신호빔이 입사되어 전파되는 프리즘을 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 광 전달부는,

상기 표면 플라즈몬 여기부에 광학적으로 연결된 표면 격자를 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 하부 금속층은 Ag 또는 Ag를 포함하는 합금을 포함하고,

상기 상부 금속층은 Au 또는 Au를 포함하는 합금을 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 유전체 도파로층은 500 nm 내지 1800 nm 사이의 동작 파장 대역에서 광학적으로 투명한 재료인 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 10

삭제

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 광 전달부 및 상기 표면 플라즈몬 여기부 사이에 위치하며, 광학적으로 투명한 기판; 및

상기 기판 및 상기 광 전달부 사이에 위치하며, 상기 기판 및 광 전달부를 접합하는 굴절율 정합 용액층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서.

청구항 12

표면 플라즈몬을 발생하는 신호빔을 입사하는 광원부;

분석의 대상에 의해 표면 플라즈몬 공진 특성이 변하는 표면 플라즈몬 공진 센서; 및

상기 표면 플라즈몬 공진 센서에 의해 표면 플라즈몬 공진되어 배출되는 반사빔을 검출하는 광 검출부를 포함하며,

상기 표면 플라즈몬 공진 센서는,

상기 신호빔이 전파되어 소산장을 형성하는 광 전달부; 및

상기 형성된 소산장에 의해 표면 플라즈몬을 여기시키고, 표면 플라즈몬 공진을 일으키는 표면 플라즈몬 여기부를 포함하고,

상기 표면 플라즈몬 여기부는,

상기 광 전달부에 인접하여 광학적으로 연결된 하부 금속층;

상기 하부 금속층에 광학적으로 연결된 유전체 도파로층; 및

상기 유전체 도파로층에 광학적으로 연결된 상부 금속층을 포함하고,

상기 유전체 도파로층은 상기 하부 금속층을 보호하고 상기 하부 및 상부 금속층의 상대적 두께 비의 제어 범위를 확대시키며, 상기 광 전달부의 굴절률 이상의 굴절률을 가지고,

Ag가 함유된 상기 하부 금속층의 두께를 Au가 함유된 상기 상부 금속층의 두께에 비해 상대적으로 증가시키며,

상기 광 검출부는 상기 표면 플라즈몬 센서의 표면 플라즈몬 공진 특성의 변화를 검출하고, 상기 분석의 대상을 분석하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템.

청구항 13

삭제

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템으로 분석하고자하는 주변매질 분석물을 더 포함하고,

상기 표면 플라즈몬 공진 센서의 표면 플라즈몬 공진 특성에 따라 상기 주변매질 분석물을 분석하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템.

청구항 15

제12항에 있어서,

상기 표면 플라즈몬 공진 센서는,

상기 표면 플라즈몬 공진에 의해 상기 입사되는 신호빔을 흡수하며, 상기 표면 플라즈몬 공진 특성은 상기 분석의 대상 또는 상기 공진 센서의 구조에 따라 변하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 표면 플라즈몬 공진 특성 또는 상기 분석의 대상에의 반응성을 제어하여, 상기 분석의 대상을 분석하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템.

청구항 17

삭제

청구항 18

제16항에 있어서,

상기 표면 플라즈몬 공진 특성의 변화 및 상기 분석의 대상에의 반응성은 상기 제어에 의해 전반사되는 상기 신호빔의 반사도를 측정하여 검출할 수 있고,

상기 반사도는 상기 광 검출부에서 검출되는 반사빔의 세기를 검출하여 측정할 수 있는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템.

청구항 19

제12항 또는 제14항에 있어서,

상기 광 전달부 및 상기 표면 플라즈몬 여기부 사이에 위치하며, 광학적으로 투명한 기판; 및

상기 기판 및 상기 광 전달부 사이에 위치하며, 상기 기판 및 광 전달부를 접합하는 굴절율 정합 용액층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템.

청구항 20

제14항에 있어서,

상기 광 전달부의 굴절율은 상기 분석의 대상 또는 상기 주변매질 분석물의 굴절율 보다 큰 것을 특징으로 하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 금속 박막과 유전체 계면사이에서 발생하는 표면 플라즈몬 공진 특성을 이용한 생화학 센서에 관한 것으로, 상세하게는 표면 플라즈몬 공진에 따른 반사도 곡선의 선폭을 감소시키고 금속 박막 표면의 전기장 세기를 증가시킴으로써 외부 환경 변화에 대한 반응도를 높이고 동적영역(dynamic range)을 확장시킨 고 분해능 표면 플라즈몬 공진 센서 및 그 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 표면 플라즈몬이란 유전체와 계면을 이루고 있는 금속 박막 표면에 발생하는 자유전자들의 전하밀도파(charge density wave)로 금속박막과 유전체 계면을 따라 진행한다. 전기장의 세기는 금속박막 표면에서 최대로 증강되고 계면에서 수직방향으로 멀어짐에 따라 지수함수적으로 감소하는 특징을 갖는다. 표면 플라즈몬은 일반적으로 p파 성분의 광파에 의한 소산장(evanescent field) 커플링을 통해 여기된다. 표면 플라즈몬이 여기되는 공진 조건은 금속박막 표면에 인접한 주변 환경변화에 매우 민감하게 의존하므로 이를 응용한 바이오 및 가스 센서 개발연구가 활발히 진행되고 있다.

[0003] 기존의 표면 플라즈몬 공진 센서는 프리즘과 그 밑면에 위치한 단일 금속 박막층으로 이루어진 기본 플랫폼을 갖는다. 금속 박막층은 프리즘 밑면에 직접 형성시키거나 혹은 투광도가 우수한 투명기판위에 형성시킨 뒤 굴절율 정합 용액(index matching oil)을 이용하여 기판면과 프리즘 밑면을 광학적으로 결합시킨 상태로 사용하는 것이 가능하다. p파 분극된 레이저 빛을 프리즘의 한쪽면을 통해 프리즘 밑면에 위치한 금속층에 입사시키면 대부분 전반사되어 나오나, 입사빔의 계면 접선성분이 표면 플라즈몬의 파벡터와 위상정합조건(phase matching condition)이 만족되는 특정 입사각에서는 금속 박막 표면과 주변매질간의 계면을 따라 전파하는 표면 플라즈몬으로 전이되어 반사도가 급격히 감소하는 dip 곡선을 형성하게 된다.

[0004] 이때, 표면 플라즈몬이 여기되는 공진조건은 주변 매질의 변화에 매우 민감하게 의존하므로 표면 플라즈몬 공진 센서의 동작은 이와 같은 주변 매질의 굴절율 변화에 따른 반사도 dip 곡선의 변화를 측정함으로써 이루어진다. 변화를 관찰하는 실험수단, 인자의 선택에 따라 다양한 측정방식이 가능하다. 단색 레이저광을 사용하는 경우에는 표면 플라즈몬이 여기되는 공진 각도의 변화를 측정하거나, 또는 입사각을 초기 공진 각도로 고정한 상태에서 반사빔에서의 세기 및 위상 변화를 측정하는 방식이 가능하다. 다색 광원을 사용하는 경우에는 분광계를 이용하여 특정 입사각에 대한 공진파장의 변화를 모니터링 함으로써 주변매질의 변화를 측정할 수 있다.

[0005] 표면 플라즈몬을 여기시키기 위해 사용 가능한 금속 물질로는 Au, Ag, Cu등의 귀금속 재료가 대표적이다. 이들 재료는 가시광 및 근적외선 파장 영역에서 광학특성이 드루드 자유전자 모델로 정의되며 금속자체의 흡수손실이 작아 표면 플라즈몬의 감쇄가 작고 날카로운 공진특성을 가진다는 장점이 있다. 광학적 측면에서만 보면 Ag의 특성이 가장 좋지만, 열적/화학적/기계적 안정성이 취약하고 생체분자와의 접합성도 미흡하다는 단점이 있다. 반면, Au는 안정성 및 생체접합성이 매우 우수하여 보편적으로 널리 사용되고 있지만 광학적 특성은 Ag에 비해 다소 떨어진다는 단점이 있다.

[0006] 질병 및 병원체 감염의 조기진단과 대기 환경오염의 신속한 분석을 위해서는 수백 달톤(Dalton) 이하의 작은 분자와 수십 펨토몰(fM) 단위의 극미량 농도에도 반응할 수 있는 고 분해능 센서의 개발이 필수적이다. 현재 상용화 되어 있는 표면 플라즈몬 공진 센서의 경우, 50 nm 두께 정도의 단일 Au 박막층을 주로 이용하는데 분해능에서 한계가 있는 것으로 알려져 있다.

[0007] 표면 플라즈몬 공진 센서의 분해능은 반사도 dip 곡선의 선폭이 작거나 외부 환경 변화에 대한 공진 각도 혹은 공진파장의 상대적 변화량이 클수록 향상되어진다. 적용 가능한 금속 물질계가 제한적인 상태에서 현재 대부분의 노력은 공진 곡선의 선폭을 감소시키는 데에 집중되고 있다. 이들은 근적외선 파장의 레이저 빛을 이용하는 방식, Au/Ag의 이중 금속층을 적용하는 방식, 그리고 장거리 표면 플라즈몬(Long range surface plasmon)과 같이 표면 플라즈몬 여기층의 다층구조 설계를 통해 플라즈모닉 모드간 커플링을 이용하는 방식등으로 분류될 수 있다.

[0008] 그러나 이러한 방식 등은 요구되는 안정성 및 분해능을 만족하지 못하기에, 안정성과 고 분해능을 갖춘 표면 플라즈몬 공진 센서의 필요성이 요구되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0009] 본 발명은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 극복하기 위하여 제안된 것으로서, 표면 플라즈몬 공진에 따른 반사도 곡선의 선폭을 감소시키고 금속박막 표면의 전기장 세기를 증가시킴으로써 외부 환경, 특히 국소영역 변화에 대한 반응도를 높이고 동적영역(dynamic range)을 확장시킴과 동시에 센서의 안정성을 향상시킨 고 분해능 표면 플라즈몬 공진 센서를 제공한다.

과제 해결수단

[0010] 상기 과제를 달성하기 위한 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서는, 신호빔이 입사되어 소산장을 형성하는 광 전달부; 및 상기 형성된 소산장에 의해 표면 플라즈몬을 여기시키고, 표면 플라즈몬 공진을 일으키는 표면 플라즈몬 여기부를 포함하며, 상기 표면 플라즈몬 여기부의 금속층 사이에 유전체 층이 삽입되어 있고, 분석의 대상에 의해 표면 플라즈몬 공진 특성이 변한다.

[0011] 또한 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템은, 표면 플라즈몬을 발생하는 신호빔을 입사하는 광원부; 분석의 대상에 의해 표면 플라즈몬 공진 특성이 변하는 표면 플라즈몬 공진 센서; 및 상기 표면 플라즈몬 여기부에 의해 표면 플라즈몬 공진되어 배출되는 반사빔을 검출하는 광 검출부를 포함하며, 상기 표면 플라즈몬 공진 센서는, 상기 신호빔이 전파되어 소산장을 형성하는 광 전달부; 및 상기 형성된 소산장에 의해 표면 플라즈몬을 여기시키고, 표면 플라즈몬 공진을 일으키는 표면 플라즈몬 여기부를 포함하고, 상기 표면 플라즈몬 여기부의 금속층 사이에 유전체 층이 삽입되어 있으며, 상기 광 검출부는 상기 표면 플라즈몬 센서의 표면 플라즈몬 공진 특성의 변화를 검출하고, 상기 대상을 분석한다.

효 과

[0012] 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서를 사용하면, 날카로운 공진곡선과 국부전기장 증진효과에 의해 주변환경의 굴절율 변화, 특히 금속층 표면부에 인접한 국소 환경 변화에 대한 분해능이 월등히 향상됨은 물론 센서의 안정성이 현저히 개선되는 이점이 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들에 대하여 상세히 설명한다.

[0014] 도 1은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서를 개략적으로 도시한 종단면도이다. 도 1에 도시되는 바와 같이, 상기 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서는 소산장(evanescent field)을 형성하는 광 전달부(10) 및 표면 플라즈몬 여기부(12,14,16)를 포함하여 구성된다.

[0015] 도 1에 도시된 실시예에서, 광 전달부는 프리즘(10)으로 구성된다. 프리즘(10)의 한쪽 면에는 표면 플라즈몬 여기부(12,14,16)가 광학적으로 연결되는데, 순차적으로 프리즘의 한쪽 면에는 하부 금속층(12)이 광학적으로 연결되며, 하부 금속층(12)에는 유전체 도파로층(14)이 광학적으로 연결되고, 유전체 도파로층(14)에는 상부 금속층(16)이 광학적으로 연결된다. 하부 금속층(12)은 Ag 및 Ag가 주성분인 합금물질로 구성되며 상부 금속층은 Au 및 Au가 주성분인 합금물질로 구성된다.

[0016] 프리즘(10)은 동작 파장에서 광학적으로 투명하여, 프리즘(10)의 일면에 입사되는 p파 분광된 신호빔(20)이 프리즘(10) 내를 전파하도록 하며 표면 플라즈몬 여기부(12,14,16)와 만나는 계면에서 전반사되어 소산장을 형성하게 한다. 본 발명의 실시예에 따른 프리즘(10)의 굴절율은 분석하고자 하는 주변매질의 굴절율보다 커야 하며 p파 분광된 신호빔(20)은 Au의 밴드간 전이(interband transition)에너지보다 낮은 500 nm 내지 1800 nm 의 파장을 가지는 가시광 및 근적외선 빛을 이용하여 형성된다.

[0017] 광 전달부(10)를 통해 입사된 p파 분광된 신호빔(20)은 표면 플라즈몬 여기부(12,14,16)와의 계면에서 전반사되는데 공진조건이 만족되는 특정 각도에서는 상부 금속층 표면의 표면 플라즈몬 모드로 커플링된다. 이에 따라, 반사빔(21)의 세기는 공진 각도에서 급강하되는 반사도 dip 곡선을 형성한다. 표면 플라즈몬 모드 커플링이 최적화되는 조건은 유전체 도파로층(14)의 광학적 두께에 민감하게 의존하며 그 외의 조건에서는 표면 플라즈몬의 감쇄를 수반한다.

[0018] 표면 플라즈몬이 여기되는 공진 각도는 입사 신호빔(20)의 파장, 프리즘(10) 굴절율, 표면 플라즈몬 여기부(12,14,16)의 다층구조 구성 및 광학상수 조합, 그리고 상부 금속층(16)에 인접한 주변매질 분석물(18)의 굴절율에 의존하여 결정된다. 표면 플라즈몬 센서의 구조와 입사빔 파장이 결정된 상태에서 주변매질 분석물(18)의 굴절율 혹은 두께 변화는 공진 각도의 변화를 야기하며 이를 감지하는 여러수단에 의해 센서동작 기구가 나뉘게 된다.

[0019] 유전체 도파로층(14) 재료로는 동작 파장 대역에서 광학적으로 투명한 재료이면 유기재료, 무기재료 및 이들의 혼합물 및 복합물 등 제한 없이 사용될 수 있다. 재료계의 예로, SiO_2, TiO_2, ZrO_2, HfO_2, Al_2O_3, CdO, ZnO, In_2O_3, SnO_2, Ga_2O_3, Y_2O_3, BeO, MgO, WO_3, V_2O_3, $BaTiO_3$ 및 $PbTiO_3$ 등의 산화물, Si_3N_4, Al_3N_4 등의 질화물, InP,

GaP 등의 인화물, ZnS, As_2S_3 등의 황화물, MgF_2, CaF_2, NaF, BaF_2, PbF_2, LiF, LaF 등의 불화물 및 이들의 혼합물로 구성된 무기재료, 폴리카보네이트(Polycarbonate), 폴리메틸 메타크릴레이트(Polymethyl methacrylate; PMMA), 폴리디메틸 실록산(Poly dimethyl siloxane; PDMS), 또는 테플론(Teflon) 등의 유기재료 및 이들의 혼합물 및 복합물을 사용할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 표면 플라즈몬 공진 센서에 신호빔을 입사하는 광원부와 상기 표면 플라즈몬 여기부에 의해 표면 플라즈몬 공진되어 배출되는 반사빔을 검출하는 광 검출부를 포함하여 구성하여, 분석의 대상 또는 외부 환경을 분석하는 표면 플라즈몬 공진 센서 시스템(미도시)을 구현할 수 있다.광 검출부는 전반사되는 신호빔(반사빔)의 세기를 측정하여 분석의 대상 또는 외부 환경을 분석할 수 있다.

[0021] 도 2는 도 1에 도시한 본 발명에 따른 고 분해능 표면 플라즈몬 공진 센서의 반사도 곡선(201)을 종래의 기술(202, 203, 204)과 비교하여 입사각도(Θ_P)의 함수로 이론적으로 계산하여 도시한 그래프이다. 표면 플라즈몬 공진 센서의 반사도는, 프리즘(10)과 표면 플라즈몬 여기부(12,14,16)와의 계면에서 전반사를 일으켜 다시 프리즘(10)에서 출사되는 반사 신호빔(21)의 세기로 측정된다.

[0022] 본 발명에 따른 예시로서, 도 2의 곡선(201)은 SF10 프리즘(10)을 사용하고 그 밑면에 35 nm 두께의 Ag 하부 금속층(12), 370 nm 두께의 SiO_2 유전체 도파로층(14) 과 28 nm 두께의 Au 상부 금속층(16)을 차례로 적층시킨 표면 플라즈몬 공진 센서의 반사도를 계산한 결과이다. 입사빔의 파장은 633 nm 이고 주변매질은 물의 굴절율과 같은 1.332 라고 가정하였다. 종래의 기술로는 공히 SF10 프리즘을 사용하였고, 그 밑면에, 50 nm 두께의 단일 Au 금속층으로 구성된 경우(204), 25 nm 두께의 Ag 층과 20 nm 두께의 Au 층이 이중층 구조를 이루고 있는 경우(203), 그리고 도파로 커플된 표면 플라즈몬의 기하구조를 갖되 상부(16), 하부 금속층(12) 모두 Au로 형성되며 각기 28 nm와 37 nm 두께를 갖고 370 nm 두께의 SiO_2 유전체 도파로층(14)을 통해 광학적으로 결합된 경우(202)를 이론 계산한 결과이다.

[0023] 도 2에 도시되는 바와 같이, 표면 플라즈몬 공진에 따른 반사도 dip 곡선은 본 발명의 실시예에 따른 Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Ag(35 nm)/SF10-프리즘 스택구조를 적용한 경우(201)에서 선폭이 가장 작고 Au(50 nm) 단일층을 사용한 경우(204)가 가장 넓은 선폭을 나타내었다. 특히, 본 발명의 실시예에 따른 반사도 곡선 (201)은 동일한 Au/Ag 비율을 갖는 단순 이중금속층을 사용한 Au(20 nm)/Ag(25 nm)/SF10-프리즘 스택구조의 경우(203)와 비교해 볼 때도 월등히 좁아진 선폭을 나타냄을 확인할 수 있다.

[0024] 도 3은 도 2에서 비교한 본 발명에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서와 종래기술들의 스택구조들에 대해 전기장 진폭 분포곡선을 프리즘에 수직한 방향으로 주변매질까지 확장하여 두께의 함수로 이론적으로 계산하여 도시한 그래프이다. 도 2의 선폭 경향에서 추론할 수 있듯이 본 발명의 실시예에 따른 Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Ag(35 nm)/SF10-프리즘 스택구조를 적용한 경우(301)가 주변매질과 인접한 박막표면에서의 전기장 진폭이 가장 크게 증진됨을 알 수 있다. 특히, 동종 Au 물질로 상부(16), 하부금속층(12)을 구성한 종래의 도파로 커플된 표면 플라즈몬 공진 센서의 예로 Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Au(37 nm)/SF10-프리즘 스택구조에 대한 계산결과(302)와 비교해 볼 때 선폭은 물론 금속표면에서의 전기장 진폭이 크게 향상됨을 알 수 있다.

[0025] 도 3의 도파로 커플된 표면 플라즈몬 공진 센서에 대한 전기장 진폭 분포를 살펴보면 공진커플링이 발생하는 조건이 성립될 경우 유전체 도파로층에서 계면에 수직한 방향으로의 p파성분 전기장 분포가 도파로 중간부위에 노드를 형성하고 상부, 하부 금속층과의 계면에서 피크를 이루되 그 크기는 공진커플링에 의해 주변매질과 인접한 상부 금속층 표면에서 증강되는 전기장 세기보다 낮음을 알 수 있다.

[0026] 도 4에서 각각의 그래프(401, 402, 403, 404, 405)는 본 발명의 실시예에 따른 Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Ag(35 nm)/SF10-프리즘 스택구조를 갖는 표면 플라즈몬 공진 센서에 대해 주변매질 전체의 벌크 굴절율-즉, 분석물층(18)의 두께가 표면 플라즈몬 감쇄거리에 비해 충분히 크다고 가정되는 경우의 분석물층(18)의 굴절율-이 각각 1.332(401), 1.336(402), 1.340(403), 1.350(404) 및 1.370(405)으로 변화하는 경우의 반사도 곡선 변화를 이론 계산하여 도시한 그래프이다. 도시되는 바와 같이, 주변 매질의 굴절율이 증가하는 경우에는 굴절율의 변화 정도에 따라 반사도에 dip이 형성되는 표면 플라즈몬 공진 각도가 높은 입사각 방향으로 이동함을 알 수 있다.

[0027] 도 5는 도 4에 나타낸 바와 같은 표면 플라즈몬 공진 곡선의 이동현상을 초기 주변 굴절율이 1.332인 상태에서의 공진 각도로 입사각을 고정시킨 상태에서 주변매질의 벌크 굴절율 변화에 따른 상대적 반사도 변화량으로 정량화하여 도 2의 계산예에서 사용한 스택구조들에 대해 그 추이를 비교한 그래프이다. 본 발명의 실시예에 따른

Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Ag(35 nm)/SF10-프리즘 스택구조(501)의 반사도 변화가 종래 기술(502, 503, 504)의 경우에 비해 주변굴절율의 미세한 변화에 가장 민감하게 반응함을 알 수 있다. 각각의 그래프(502, 503, 504)는 각각 도 2에 도시한 종래기술의 스택구조인, Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Au(37 nm)/SF10-프리즘 스택구조(502), Au(25 nm)/Ag(20 nm)/SF10-프리즘 스택구조(503), 단일 Au(50 nm)-프리즘 스택구조(504)에 일대일 대응하여 계산된 반응곡선을 나타낸다.

[0028] 도 6은 도 5의 경우와 달리 주변매질의 벌크 굴절율은 1.332로 유지되는 상태에서 표면 플라즈몬이 여기되는 금속표면에 인접한 10 nm 두께의 분석물층(18)만이 그 굴절율이 1.332 부터 1.400 까지 변화하는 경우에 대한 반응성을 반사도 변화량으로 도시한 그래프이다. 벌크 굴절율에 대한 변화추이와 마찬가지로 본 발명의 실시예에 따른 스택구조의 경우(601)에서 가장 민감한 반응성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 각각의 그래프(602, 603)은 이중금속층을 사용하는 Au(20 nm)/Ag(25 nm)/SF10-프리즘 스택구조(602)와 Au 단일층을 사용하는 Au(50 nm)/SF10-프리즘 스택구조(603)에 대한 계산 결과를 보여준다. 본 발명에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서는 벌크 민감도는 물론 금속표면에 인접한 얇은 분석물의 굴절율 변화에도 동일한 Au/Ag 비율을 갖는 단순 이중 금속층의 경우와 비교할 때 현저히 향상된 반응성을 나타냄을 알 수 있다.

[0029] 여기서, 수나노 내지 수십나노 두께의 얇은 분석물은 바이오 센서등에서 센서의 선택도를 높이기 위해 분석하고자 하는 특정 타겟 분자(target molecule)에 대한 결합성이 좋은 검진 분자(probe molecule)로 금 표면을 기능화(functionalization) 처리하는 경우에 흔히 발생하는 상황을 모사한 것이다. 항원-항체, 효소-기질, 리셉터-리간드, 단백질-DNA 결합등을 그 예로 들 수 있다.

[0030] 도 7은 본 발명에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서에서 Au 상부금속층(16)과 Ag 하부금속층(12)간의 두께 비를 조절함으로써 주변환경 변화에 대한 반응성을 보다 증진시킬 수 있음을 보여주는 그래프이다. 도 5와 도 6에 기도시한 본 발명에 따른 실시예의 하나인 Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Ag(35 nm)/SF10-프리즘 스택구조를 적용한 경우(702, 706)와 Ag의 상대적 비율을 3.75로 높인 Au(12 nm)/SiO_2(370 nm)/Ag(45 nm)/SF10-프리즘 스택구조(701, 704)에 대해 벌크 분석물 및 10 nm 두께의 분석물 각각의 굴절율 변화에 따른 반사도 변화를 계산하여 도시하였다. 그래프 (701, 702)는 벌크 분석물의 굴절율 변화에 대한 반응곡선이고 (704, 706)는 10 nm 두께의 분석물에 대한 반응곡선을 나타낸다. Ag의 상대적 비율이 증가할수록 반사도 dip 곡선의 선폭이 크게 감소하며 이에 따라 주변 매질의 미세한 굴절율 변화를 감지하는 센서 분해능도 월등히 향상되었다.

[0031] 도 7에는 종래 기술과의 비교를 위해 비슷한 Au/Ag 비율을 갖는 Au(10 nm)/Ag(36 nm) 단순 이중층을 사용하는 경우에 대한 계산결과(703, 705)를 함께 나타내었다. Ag의 비율이 증가할수록 본 발명에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서의 분해능은 종래의 단순 이중 금속층을 사용하는 경우에 비해 그 향상되는 정도 또한 크게 증가함을 확인 할 수 있다.

[0032] 도 8은 본 발명에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서 스택구조에서 유전체 도파로층의 물질선택에 따른 반사도 dip 곡선을 도시한 그래프이다. Au 상부 금속층과 Ag 하부 금속층의 두께가 각각 28 nm와 35 nm로 고정된 상태에서, 유전체 물질로 SiO_2, Al_2O_3, 및 TiO_2를 각각 선택하여 공진특성이 최적화되도록 도파로층의 두께를 결정하였다. 유전체 도파로 층의 굴절율이 증가함에 따라 공진특성이 최적화되는 도파로층의 두께는 감소하게 되는데 SiO_2의 경우에는 370 nm, Al_2O_3의 경우에는 207 nm, 그리고 TiO_2의 경우에는 93 nm 였다. 유전체 도파로층의 두께가 프리즘의 굴절율보다 높은 Al_2O_3(803)와 TiO_2(802)를 사용하는 경우에는 반사도 dip 곡선의 선폭이 저굴절율 유전체 SiO_2를 사용하는 경우(801) 보다 다소 넓고 공진 각도도 증가함을 알 수 있다.

[0033] 그러나, 특이하게도 주변 매질의 굴절율 변화에 대한 반사도 변화추이는 유전체 물질의 종류에 상관없이 거의 동일한 결과를 나타냄을 확인 할 수 있었다. Au 상부 금속층(16) 표면에서의 전기장 크기 역시 유전체 물질의 종류에 크게 의존하지 않는 일정한 분포를 나타내었다. 이는 장거리 표면 플라즈몬 공진 센서의 경우와 뚜렷히 차별화 되는 특성으로 유전체 재료계 선택에 있어서 굴절율 범위에 제약이 없는 높은 유연성을 확보하고 있음을 보여준다.

[0034] 도 9는 도 8의 실시예에서 TiO_2층을 유전체 도파로로 사용한 스택구조에 대해 TiO_2층의 두께를 증가시켜 가며 표면 플라즈몬 공진 곡선이 최적화되는 조건을 찾아 해당 두께별로 반사도 dip 곡선을 도시한 그래프이다. 흥미롭게도 일정한 두께 주기별로 공진특성이 최적화되고 유전체 공진두께 주기가 증가할수록 공진 각도는 별다른 변화를 보이지 않지만 반사도 곡선의 선폭은 점진적으로 감소됨을 확인 할 수 있었다. 본 실시예의 스택구조하에

서는 TiO_2층의 공진주기가 대략 135 nm 로 평가되었으며 도 9의 그래프 (901, 902, 903)는 TiO_2층의 두께가 각각 93 nm(901), 362 nm(902) 그리고 1035 nm(903)인 경우를 대표적으로 도시하여 보여준다.

[0035] 도 10은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서를 개략적으로 도시한 종단면도이다. 도 10을 참조하면, 상기 실시예에 따른 광소자는 소산장을 형성하는 광 전달부(10, 30, 32) 및 표면 플라즈몬 여기부(12, 14, 16)를 포함하여 구성된다. 광 전달부는 프리즘(10), 굴절율 정합 용액층(32) 및 투명기판(30)을 포함하여 구성된다.

[0036] 프리즘(10)의 밑면에 직접 플라즈몬 여기부(12, 14, 16)가 형성된 제1 실시예와 달리, 제 2 실시예에서는 소다석회 유리(soda-lime glass), 붕규산염 유리(borosilicate glass), 용융 실리카 유리 등 동작파장에서 광학적으로 투명한 물질로 구성된 투명기판(30)을 먼저 형성한다. 투명기판(30)의 저면에는 플라즈몬 여기부(12, 14, 16)가 순차적으로 광학적으로 연결되며 투명기판(30)의 상면에는 굴절율 정합 용액층(32)이 위치한다. 투명기판(30)은 굴절율 정합 용액층(32)을 이용하여 프리즘(10)과 결합된다. 제 1 실시예와 마찬가지로 하부 금속층(12)은 Ag 및 Ag이 주성분인 합금물질로 구성되며 상부 금속층은 Au 및 Au이 주성분인 합금물질로 구성된다.

[0037] 이와 같이 구성된 본 발명의 제2 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서의 동작은 전술한 제1 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서와 동일하다. 다만, 프리즘(10) 밑면에 직접 표면 플라즈몬 여기부(12, 14, 16)를 형성시키지 않고 평판형 기판(30)을 사용한 증착공정을 이용할 수 있어, 막질의 개선을 위한 공정제어 및 표면 패터닝이 용이할 뿐만 아니라 프리즘(10)에 비해 상대적으로 저가인 유리기판을 사용함으로써 한번 쓰고 버리는 일회성(disposable) 분석이 가능하다는 이점이 있다.

[0038] 그러나, Au 단일층을 사용하는 종래의 기술에 있어서는 투명기판(30)의 굴절율이 프리즘의 굴절율과 최대한 근접하게 맞춰져야 할 필요가 있어서 저가 기판사용이 제한될 수 밖에 없다는 문제점이 있다. 특히, 고굴절 프리즘을 사용하는 것이 표면 플라즈몬 공진 센서가 감지할 수 있는 굴절율 범위인 동적 영역을 확대하는데 유리하다는 점을 감안하면 Au 단일층을 사용하는 종래기술로는 저가 기판 사용에 따른 상기의 이점을 활용하는 것이 제한적이라는 사실을 알 수 있다.

[0039] 도 11은 본 발명의 제2 실시예에 따른 이점을 설명하기 위해 투명기판(30)으로 굴절율 1.45인 일반 소다석회 유리를 사용한다고 가정할 때, SF10 프리즘(10)과 표면 플라즈몬 여기부(12, 14, 16) 다층구조로 Au(28 nm)/SiO_2(370 nm)/Ag(35 nm) 스택을 사용하는 경우에 대해 종래의 50 nm 두께의 단일 Au 금속층을 사용하는 경우와 비교하여 반사도 곡선을 도시하였다. 여기서, 굴절율 정합 용액층(32)의 굴절율은 기판(30)의 굴절율과 같다고 가정하였다.

[0040] 도 11에서 도시된 바와 같이 종래의 기술(111)에서는 프리즘의 굴절율에 비해 기판의 굴절율이 작을수록 표면 플라즈몬 공진현상이 완전이 이루어지기 전에 프리즘(10)과 기판(30)간 계면에서의 전반사가 일어나서 입사빔이 표면 플라즈몬이 여기되는 Au 단일 금속층까지 도달하지 못해 반사도 dip곡선이 짤리는 현상이 발생한다. 이러한 상황에서도 본 발명에 따른 스택구조(110)는 날카로운 선폭과 입사각도의 저각이동으로 충분한 동적범위를 확보하는 것이 가능함을 보여준다. 부가적으로 반사도 dip 레벨의 차이만큼 신호비가 향상되는 효과도 있다.

[0041] 본 발명의 제2 실시예에 따른 투명기판(30)의 재료로는 신호빔(20)의 파장에 대해 광학적으로 투명한 재료이면 유기물 또는 무기물의 제한 없이 모두 사용가능하며 그 굴절율 범위도 별다른 제약 없이 이용 가능하다.

[0042] 이상에서 살펴본 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서는 입사 신호빔을 프리즘을 사용하여 소산장을 발생시키고 표면 플라즈몬 여기부로 커플링하는 구성을 개시하였다. 그러나 이는 예시적인 것으로서, 본 발명의 다른 실시예에서는 광 전달부로 프리즘 대신 표면 격자(grating)를 사용하여 신호빔을 표면 플라즈몬 여기부의 상부 금속층(16) 표면에 커플링시키는 구성도 가능하다.

[0043] 또한, 프리즘(10)의 형태도 입사평면(plan of incidence)에 위치한 절단면이 삼각형인 예시외에도, 반구 형상인 실린더형 프리즘은 물론 다양한 형상의 프리즘으로 구성하는 것이 가능하다.

[0044] 이밖에도 금속층과 유전체 도파로층 및 프리즘과의 접착력 향상을 위해 부가적인 계면 접착층이 삽입되는 구성도 가능하다.

[0045] 광 신호를 검출하는 방식도 공진 각도에서의 상대적 반사도 변화를 측정하는 방식외에 신호 감도 향상을 위해 반사도가 최소가 되는 dip 위치가 아닌 어느정도의 반사도가 확보되는 반사도 곡선상의 임의의 각도에서 센서 동작을 수행하는 것이 가능하다. 이외에도 주변매질의 굴절율 변화에 따른 공진 각도의 변화를 검출하는 방식, 다파장 광원을 이용하여 특정입사각에서의 공진파장 변화를 검출하는 방식과 위상변화를 검출함으로써 센서동작

을 수행하는 방식등이 가능하다.

[0046] 본 발명의 실시예에서는 분석하고자 하는 주변매질의 변화를 직접적으로 관찰하는 방식을 예시하였으나 타겟물질에 민감하게 반응하여 굴절율이나 부피등의 변화를 수반하는 별도의 감지층을 금속표면에 형성시켜 감지층의 변화로부터 표면 플라즈몬 공진조건의 변화를 검출하는 센서동작방식도 사용가능하다.

[0047] 이상에서 설명한 본 발명은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 있어 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 변경 및 변형이 가능하므로 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0048] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서를 개략적으로 도시한 종단면도.

[0049] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서의 입사각 대비 반사도 곡선을 종래 기술과 비교하여 도시한 그래프.

[0050] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서에 대해 p파 법선 전기장 진폭 분포를 프리즘에 수직한 방향으로 주변 매질까지 확장하여 두께의 함수로 종래 기술과 비교하여 도시한 그래프.

[0051] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서의 주변 매질 벌크 굴절율 변화에 따른 입사각 대비 반사도 곡선을 도시한 그래프.

[0052] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서의 주변 매질 벌크 굴절율 변화에 따른 초기 공진 각도에서의 반사도 변화량을 종래 기술과 비교하여 도시한 그래프.

[0053] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서의 표면 금속층에 인접한 10 nm 두께의 분석물 굴절율 변화에 따른 초기 공진 각도에서의 반사도 변화량을 종래 기술과 비교하여 도시한 그래프.

[0054] 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서에서 Au층과 Ag층의 두께 비율 변화에 따른 주변 환경 변화에 대한 반응도를 종래 기술과 비교하여 도시한 그래프.

[0055] 도 8은 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서에서 유전체 도파로층의 물질의 종류에 따른 입사각 대비 반사도 곡선을 도시한 그래프.

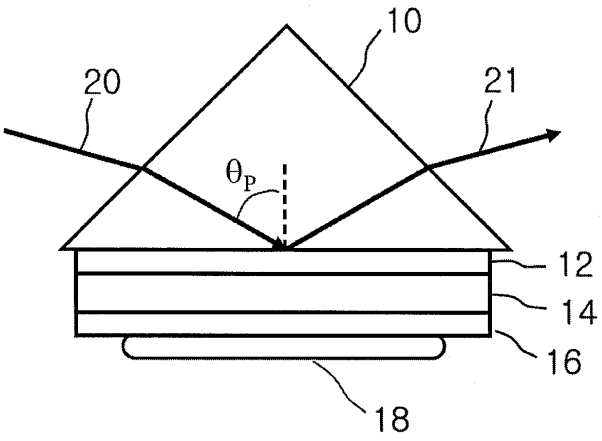
[0056] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서에서 유전체 도파로층의 공진 두께 변화에 따른 입사각 대비 반사도 곡선을 도시한 그래프.

[0057] 도 10은 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서를 개략적으로 도시한 종단면도.

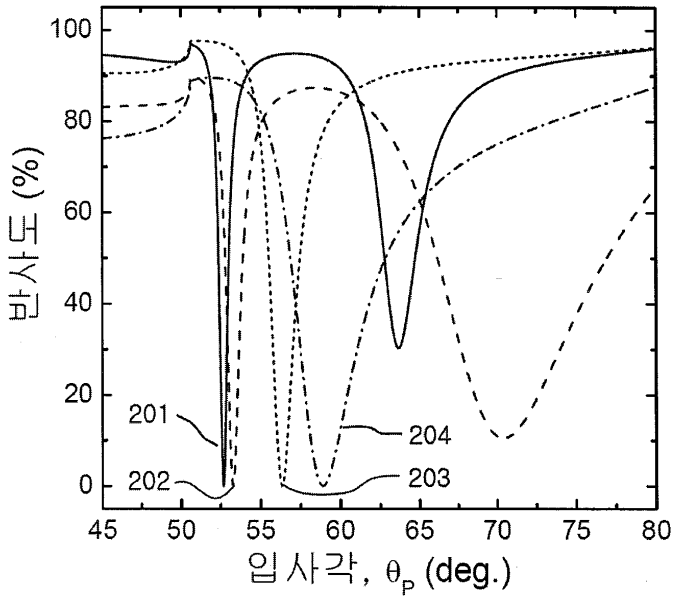
[0058] 도 11은 본 발명의 실시예에 따른 표면 플라즈몬 공진 센서의 기판 재료 선택에의 유연성을 종래기술과 비교하여 도시한 입사각 대비 반사도 그래프.

도면

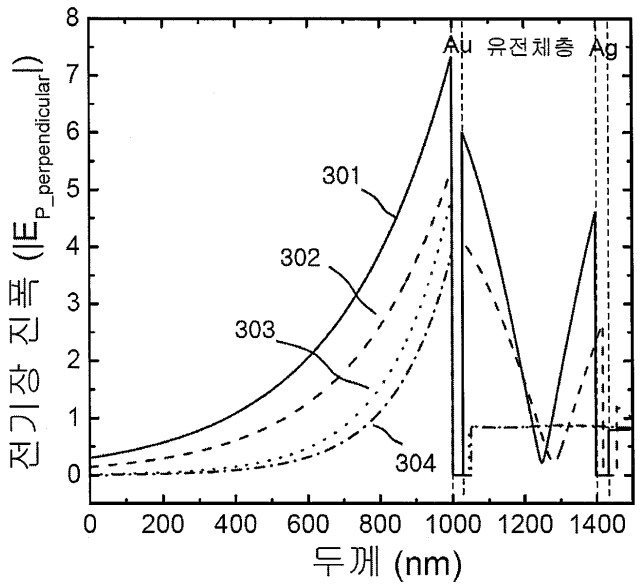
도면1


10
20
21
θ_P
12
14
16
18

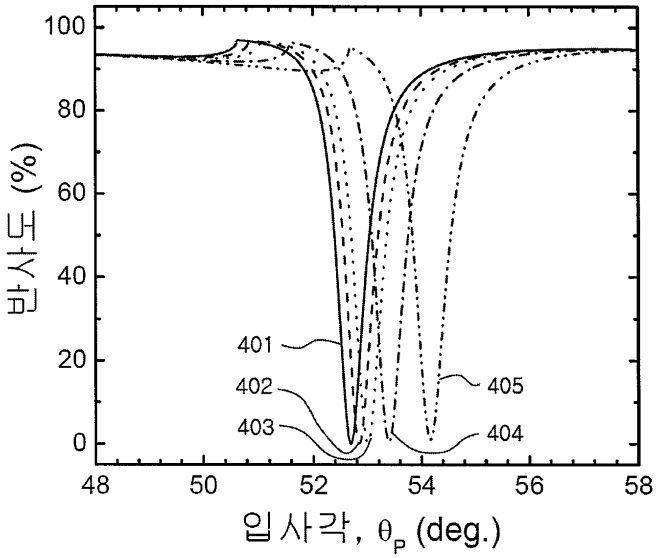
도면2


100
80
60
40
20
0
반사도 (%)
201
202
203
204
45
50
55
60
65
70
75
80
입사각, θ_P (deg.)

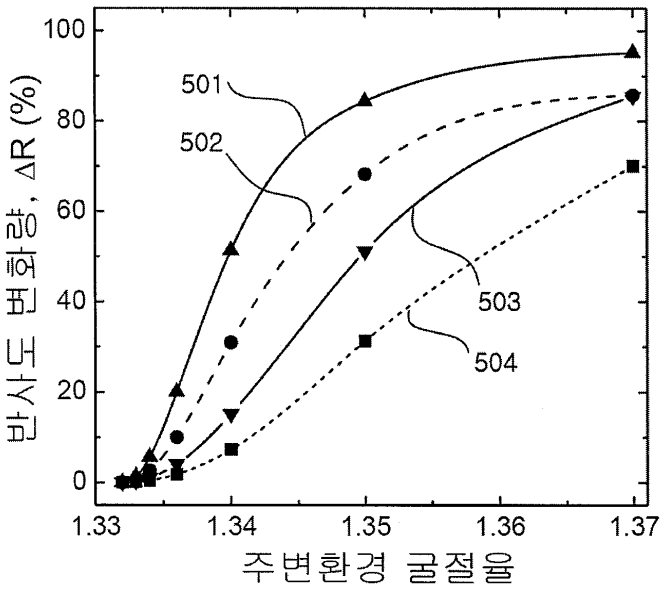
도면3


Au
유전체층
Ag
301
302
303
304
전기장 진폭 (|E_P_perpendicular|)
두께 (nm)
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
0
1
2
3
4
5
6
7
8

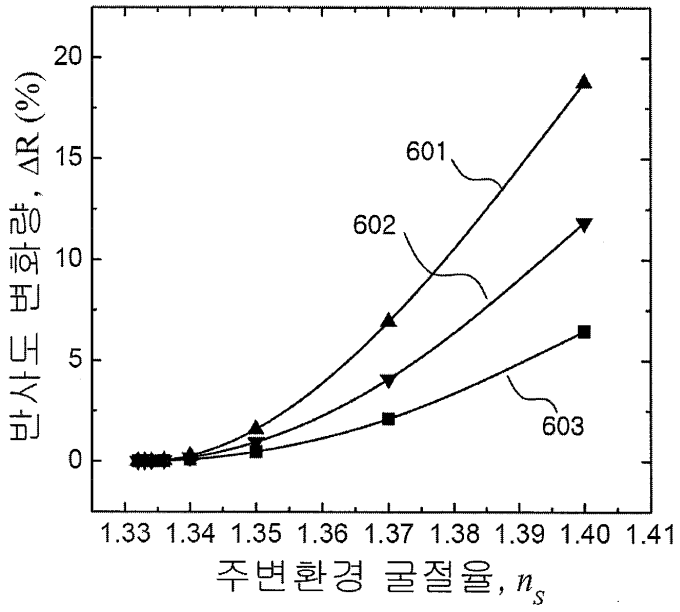
도면4


401
402
403
404
405
반사도 (%)
입사각, θ_P (deg.)
48
50
52
54
56
58
0
20
40
60
80
100

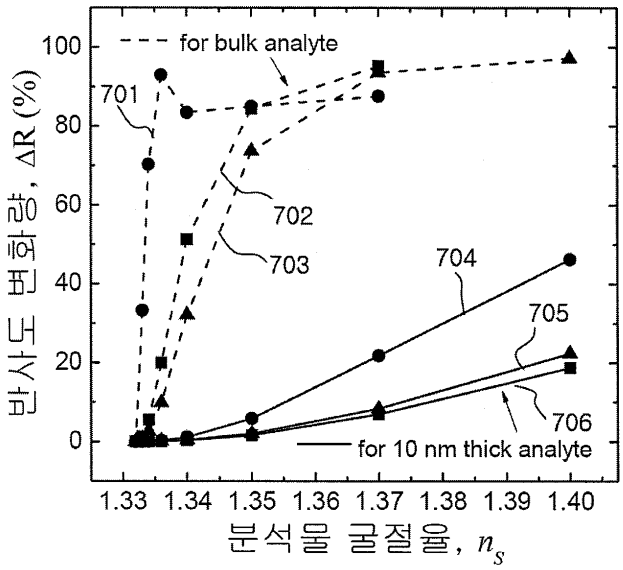
도면5


100
80
60
40
20
0
반사도 변화량, ΔR (%)
501
502
503
504
1.33
1.34
1.35
1.36
1.37
주변환경 굴절율

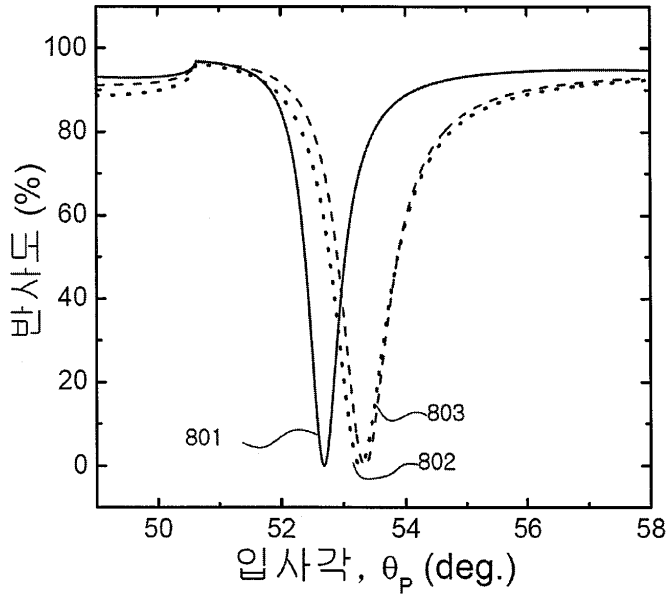
도면6


20
15
10
5
0
반사도 변화량, ΔR (%)
601
602
603
1.33 1.34 1.35 1.36 1.37 1.38 1.39 1.40 1.41
주변환경 굴절율, n_s

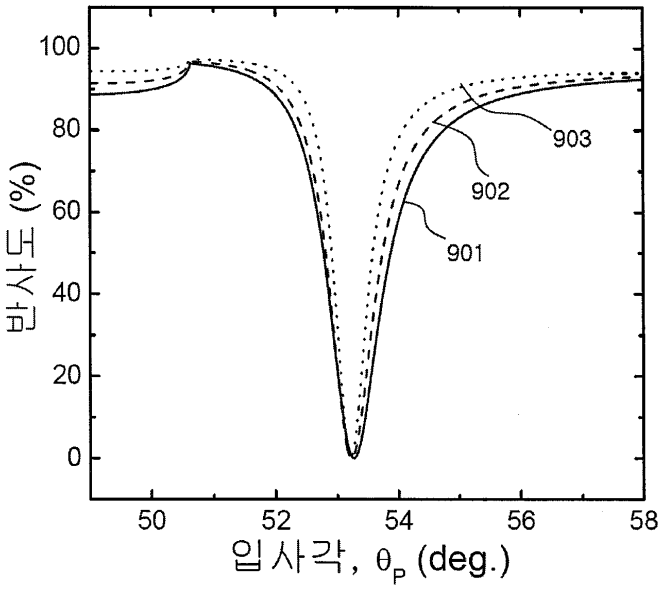
도면7


for bulk analyte
701
702
703
704
705
706
for 10 nm thick analyte
반사도 변화량, ΔR (%)
분석물 굴절율, n_s
100
80
60
40
20
0
1.33
1.34
1.35
1.36
1.37
1.38
1.39
1.40

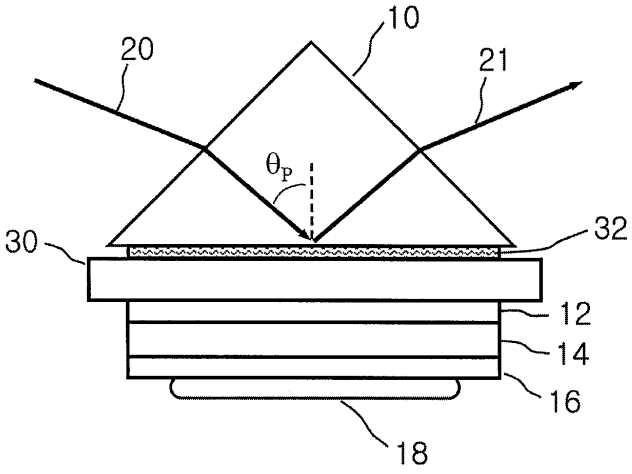
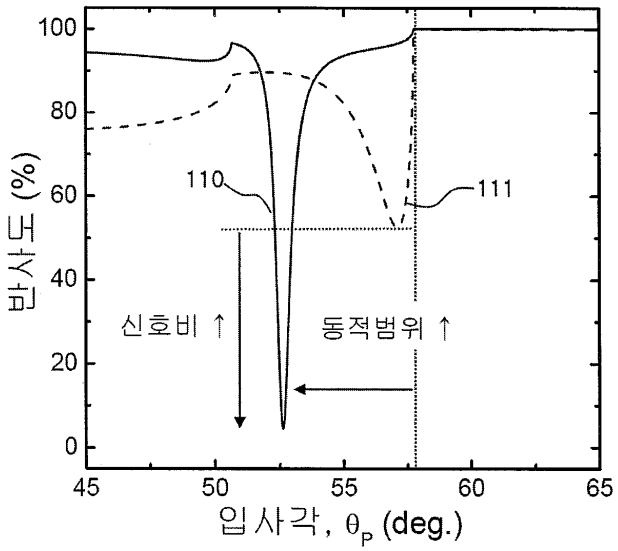
도면8


801
802
803
반사도 (%)
입사각, θ_P (deg.)
100
80
60
40
20
0
50
52
54
56
58

도면9


100
80
60
40
20
0
반사도 (%)
50
52
54
56
58
입사각, θP (deg.)
901
902
903

도면10


10
20
21
θP
30
32
12
14
16
18

도면11