



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0033682
(43) 공개일자 2022년03월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01Q 60/18 (2010.01)

(52) CPC특허분류

G01Q 60/18 (2013.01)

G01N 21/658 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2020-0115838

(22) 출원일자 2020년09월10일

심사청구일자 2020년09월10일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

박경덕

울산 울주군 언양읍 유니스트길 50

이동윤

울산 울주군 언양읍 유니스트길 50

마커스 라쉬케

울산 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

김중석

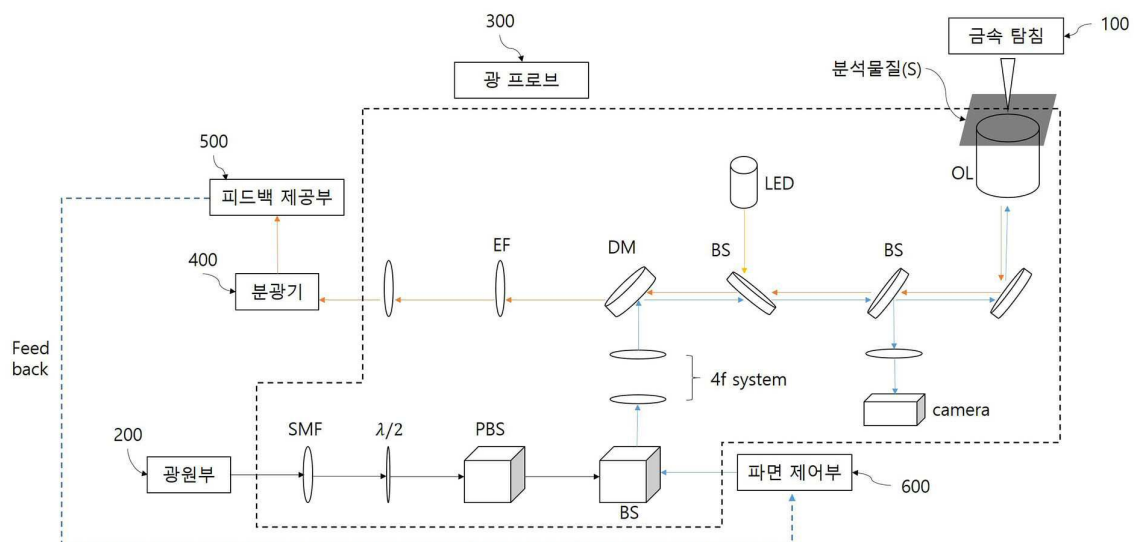
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 근접장 광학 현미경 시스템 및 이의 제어방법

(57) 요약

본 발명은 근접장 광학 현미경 시스템 및 이의 제어방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 말단이 분석물질과 인접하게 위치되는 금속 탐침, 빛을 방출하는 광원부, 상기 광원부로부터 방출된 빛이 상기 금속 탐침과 분석물질 사이에 조사될 수 있도록 하는 광 프로브, 상기 빛과 분석물질과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호를 입력받아 스펙트럼을 생성하는 분광기, 상기 스펙트럼 내 기준치에 대한 상기 탐침증강신호가 최대로 증폭되는 상기 빛의 파면을 찾도록 단계적으로 피드백을 제공하는 피드백 제공부 및 상기 피드백에 따라 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면을 제어하는 파면 제어부를 포함하는 근접장 광학 현미경 시스템 및 이의 제어방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711114959
과제번호	2020R1C1C1011301
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	저차원 반도체 나노분광 특성 제어를 위한 능동형 나노스โค피 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

말단이 분석물질과 인접하게 위치되는 금속 탐침;

빛을 방출하는 광원부;

상기 광원부로부터 방출된 빛이 상기 금속 탐침과 분석물질 사이에 조사될 수 있도록 하는 광 프로브;

상기 빛과 분석물질과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호를 입력받아 스펙트럼을 생성하는 분광기;

상기 스펙트럼 내 기준치에 대한 상기 탐침증강신호가 최대 증폭되는 상기 빛의 파면을 찾도록 단계적으로 피드백을 제공하는 피드백 제공부; 및

상기 피드백에 따라 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면을 제어하는 파면 제어부; 를 포함하는 근접장 광학 현미경 시스템.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 피드백 제공부는,

상기 활성영역을 $N \times N$ 개의 세그먼트로 나누고, 위상 지연 함수를 이용하여 상기 $N \times N$ 개의 세그먼트 각각에 대한 최적 위상을 순차적으로 결정하는 특징으로 하는 근접장 광학 현미경 시스템.

여기서 N 은 양의 정수이다.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 피드백 제공부는,

상기 금속 탐침의 말단 표면과 상기 빛의 국지적인 편광성분이 나란해지면 상기 탐침증강신호가 최대 증폭된 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는 근접장 광학 현미경 시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 파면 제어부는,

상기 빛의 파면의 위상을 광축을 기준으로 0π 내지 2π 범위에서 제어하는 것을 특징으로 하는 근접장 광학 현미경 시스템.

청구항 5

광원부에 의하여, 빛이 방출되는 빛 방출단계;

광 프로브에 의하여, 상기 광원부로부터 방출된 빛이 금속 탐침과 분석물질 사이에 조사되는 빛 조사단계;

분광기에 의하여, 상기 빛과 분석물질과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호가 입력되어 스펙트럼이 생성되는 스펙트럼 생성단계;

피드백 제공부에 의하여, 상기 스펙트럼 내 기준치에 대한 상기 탐침증강신호가 최대 증폭되는 상기 빛의 파면이 찾아지도록 단계적으로 피드백이 제공되는 피드백 제공단계; 및

파면 제어부에 의하여, 상기 피드백에 따라 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면이 제

어되는 파면 제어단계; 를 포함하는 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 피드백 제공단계는,

상기 활성영역이 $N \times N$ 개의 세그먼트로 나뉘지는 활성영역 분할단계; 및

위상 지연 함수가 이용되어 상기 $N \times N$ 개의 세그먼트가 순차적으로 최적 위상이 결정되는 최적 위상 결정단계; 를 포함하는 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법.

여기서 N 은 양의 정수이다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 근접장 광학 현미경 시스템 및 이의 제어방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 탐침증강 나노분광현미경에 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응광학기술을 접목하여 최대로 증폭된 신호를 획득하는 근접장 광학 현미경 시스템 및 이의 제어방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 전자 현미경의 발전과정을 보면, 1981년 발명된 주사 터널링 현미경(STM)은 물질이나 재료의 나노미터 크기의 구조와 성질을 이해하는 것을 가능하게 하는 출발점이 되었다. 그 후 발명된 원자힘 현미경(Atomic Force Microscope; AFM), 근접장 광학 현미경(Near-field Scanning Optical Microscope; NSOM)과 같은 주사 프로브 현미경(Scanning Probe Microscope; SPM) 등을 이용하여 물질/재료 표면 구조의 관찰 이외에 다양한 물리적, 광학적 연구가 가능해져 나노과학이라는 새로운 학문의 장이 열리게 되었다.

[0003] 다만, AFM은 화학적 선택성이 없어 비슷한 부피의 분자들의 화학적 특성을 구별해내는 능력이 없다는 단점이 있다.

[0004] 그리고 NSOM은 분석화학적 기법을 활용하여 분자량이 비교적 큰 분자들을 구별해내는 것이 가능하여 광학 현미경과 AFM의 결합이나 AFM 팁의 화학적 처리를 통하여 선택성을 부여하는 등의 방법에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.

[0005] NSOM은 유공 근접장 현미경과 무공 근접장 현미경으로 나눌 수 있는데, 유공 근접장 현미경은 탐침에 파장의 길이보다 매우 짧게 형성된 구멍에 빛을 조사하고 상기 구멍을 통해 새어 나오는 미세한 빛을 스캐닝 기관 상의 시료에 빛의 파장 길이보다 짧은 거리까지 근접하여 조사시키면서 스캔하여 각 스캔 픽셀마다 근접장 빛이 시료와 상호작용하여 나오는 광 신호를 검출하는 현미경으로, 빛이 원천적으로 가졌던 회절 한계를 극복할 수 있으나 탐침부가 가열되어 조사되는 빛의 강도를 일정 수준 이상으로 높일 수 없고 살아있는 세포에 대해서는 정확한 분석이 어려운 단점이 있다.

[0006] 무공 근접장 현미경은 유공 근접장에서 사용된 광섬유팁을 쓰는 대신 금속이나 유전체로 된 탐침에 매우 집광이 잘된 레이저 광을 방사하여 탐침 끝에 레이저의 광밀도가 집중되도록 한 후 이때 형성된 근접장에 시료를 가까이 접근하여 스캔하는 방식으로서, 가장 대표적으로 탐침 증강 라만 분광학(Tip-Enhanced Raman Spectroscopy; TERS)이 있다.

[0007] 여기서, TERS는 원자힘 현미경(AFM)을 이용한 라만 분광법으로, 원자힘 현미경 내 은(Ag) 또는 금(Au) 등의 금속으로 코팅된 탐침과 접촉되는 영역에 한정되어 증폭된 라만 신호가 발생하여 고 분해능의 라만 분광 분석이 가능하도록 한 방법이다. 그리고 TERS은 탐침의 첨단에서 매우 강하게 증가되는 전자기장을 이용하여 탐침 주변 수십 nm^2 영역에 대한 라만 스펙트럼을 획득할 수 있다.

[0008] 다만, 종래의 TERS은 탐침에서 생성되는 전기장의 편광이 외부에서 조사된 빛의 편광으로 결정되지 않기 때문에 라만 산란된 빛의 대칭성을 논할 수 없게 된다. 이러한 이유로 라만 산란의 최대 장점인 대칭성에 따른 라만 선택률을 분석하기 어렵고, 각 탐침에서 증강되는 신호 정도가 매우 달라 재현성이 떨어지는 문제점이 있다.

[0009] 따라서 이를 해결할 수 있는 기술이 필요한 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0010] (특허문헌 0001) KR 10-1448111

(특허문헌 0002) KR 10-1790561

발명의 내용

해결하려는 과제

[0011] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로, 빛과 분석물질의 상호작용이 활발하게 발생할 수 있도록 기하학적인 구조를 갖는 금속 탐침의 표면과 광원부의 국지적인 편광성분이 나란하도록 빛의 파면을 제어하는 근접장 광학 현미경 시스템 및 이의 제어방법을 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 목적은 최대 증폭된 신호를 얻도록 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응 광학기술을 접목하여 국소 편광성분을 최적화시키는 피드백 알고리즘을 포함하는 근접장 광학 현미경 시스템 및 이의 제어방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0013] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템은 말단이 분석물질과 인접하게 위치되는 금속 탐침; 빛을 방출하는 광원부; 상기 광원부로부터 방출된 빛이 상기 금속 탐침과 분석물질 사이에 조사될 수 있도록 하는 광 프로브; 상기 빛과 분석물질과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호를 입력받아 스펙트럼을 생성하는 분광기; 상기 스펙트럼 내 기준치에 대한 상기 탐침증강신호가 최대 증폭되는 상기 빛의 파면을 찾도록 단계적으로 피드백을 제공하는 피드백 제공부; 및 상기 피드백에 따라 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면을 제어하는 파면 제어부;를 제공한다.

[0014] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법은 광원부에 의하여, 빛이 방출되는 빛 방출단계; 광 프로브에 의하여, 상기 광원부로부터 방출된 빛이 금속 탐침과 분석물질 사이에 조사되는 빛 조사단계; 분광기에 의하여, 상기 빛과 분석물질과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호가 입력되어 스펙트럼이 생성되는 스펙트럼 생성단계; 피드백 제공부에 의하여, 상기 스펙트럼 내 기준치에 대한 상기 탐침증강신호가 최대 증폭되는 상기 빛의 파면이 찾아지도록 단계적으로 피드백이 제공되는 피드백 제공단계; 및 파면 제어부에 의하여, 상기 피드백에 따라 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면이 제어되는 파면 제어단계;를 제공한다.

발명의 효과

[0015] 이상과 같이 본 발명에 의하면 기하학적인 구조를 갖는 금속 탐침의 표면과 광원부의 국지적인 편광성분이 나란하도록 빛의 파면을 제어하는 파면 제어부를 구비함으로써, 빛과 분석물질의 상호작용이 활발하게 발생할 수 있고, 이로 인해 최대 증폭된 신호를 획득할 수 있는 효과가 있다.

[0016] 또한, 본 발명은 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응 광학기술을 접목하여 국소 편광성분을 최적화시키는 피드백 알고리즘을 구비함으로써, 최대 증폭된 신호를 획득할 수 있고, 종래 기술대비 2배 이상의 강도를 갖는 신호를 획득할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 빛과 분석물질(S)의 상호작용(a) 및 피드백 알고리즘에 대한 그래프(b)를 표시한 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 파면 제어부(600)로부터 빛의 파면이 제어되기 전(a)과 후(b)를 표시한 도면

이다.

도 4는 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 피드백 제공단계의 세부흐름도이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 TEPL(a) 및 TERS(b)에 대한 금(Au) 필름 상에 전사된 WSe₂의 원거리 필드(far-field), 종래 탐침증강신호 및 본 발명의 탐침증강신호의 강도를 각각 비교한 그래프이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 TERS에 대한 금(Au) 필름 상에 코팅된 BCB의 원거리 필드(far-field) 및 빛의 파면(ϕ_1 , ϕ_2)에 따른 탐침증강신호의 강도를 나타낸 그래프(a)와 라만 및 IR 활성모드를 사용한 진동스펙트럼(b)을 표시한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0018] 본 명세서에서 사용되는 용어는 본 발명에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 발명에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 발명의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.
- [0019] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0021] **근접장 광학 현미경 시스템**
- [0022] 이하, 본 발명에 따른 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다. 도 1은 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템 구성도이다.
- [0023] 도 1을 보면, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템은 금속 탐침(100), 광원부(200), 광 프로브(300), 분광기(400), 피드백 제공부(500) 및 파면 제어부(600)를 포함한다.
- [0024] 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템은 빠르게 변화하는 광학적인 왜곡의 영향을 줄여 광학 장치 성능을 향상시킬 수 있는 적응광학기술이 적용된 것으로 적응형 근접장 광학 현미경 시스템이다.
- [0025] 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, 본 발명은 탐침증강 나노분광현미경에 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응광학기술을 적용하여 최대 증폭된 신호를 획득하는 적응형 근접장 광학 현미경 시스템이다.
- [0026] 보다 구체적으로, 상기 금속 탐침(100)은 말단(110)이 분석물질(S)과 인접하게 위치된다. 상기 금속 탐침(100)은 금속으로 코팅되거나, 금속 그 자체일 수 있다. 상기 금속은 금(Au), 백금(Pt), 은(Ag), 팔라듐(Pd), 텅스텐(W), 알루미늄(Al), 크롬(Cr) 또는 전도성의 금속 재질일 수 있고, 상기 금속은 금(Au) 또는 은(Ag)이 가장 바람직하다.
- [0027] 또한, 상기 금속 탐침(100)의 말단(110)의 단면적으로부터 상기 분석물질(S)까지의 간격은 수 나노미터(nm)일 수 있다. 가장 바람직하게 상기 금속 탐침(100)의 말단(110)과 상기 분석물질(S)의 간격은 2 내지 5nm로 한다.
- [0028] 이유는, 상기 간격이 2nm 미만일 경우에는 간격이 협소하거나 간격이 존재하지 않게 됨으로 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용이 일어나기 어려운 조건이 될 수 있다. 그리고 상기 간격이 5nm 초과일 경우에는 간격이 넓어져 상기 빛과 분석 물질(S)과의 상호작용이 덜 발생되고 이로 인해 탐침증강신호의 강도도 약해지는 단점이 있기 때문이다.
- [0029] 상기 분석물질(S)은 그래핀 나노 리본 등의 여러 나노 구조체, 나노미터 스케일로 불균일한 자성체, 세라믹 초전도체, 거대자기효과 물질, 반도체 나노소자, 나노 로드(Nano Rod), 초박막 및 브릴리언트 크레실 블루(Brilliant cresyl blue, BCB), 벤젠시올(benzenethiol, BT), 아데닌 단량체(adenine monomer), DNA와 같은 다

양한 분자 동일 수 있고, 상기 분석물질(S)의 종류는 기재된 물질에 국한되지 않는다.

- [0030] 한편, 상기 분석물질(S)은 금속 필름 상에 위치될 수 있는데, 상기 금속 필름은 가장 바람직하게 금(Au) 또는 은(Ag)으로 형성될 수 있다.
- [0031] 다음으로, 상기 광원부(200)는 빛을 방출한다. 상기 광원부(200)는 가장 바람직하게 기 설정된 파장을 방출하는 단색 레이저일 수 있다. 가장 바람직하게는 상기 광원부(200)는 연속파를 방출하는 헬륨(He)-네온(Ne) 레이저일 수 있고, 단일 모드 섬유를 사용하여 공간 필터링 및 공간 일관성을 개선하기 위하여 직경이 확장될 수 있다.
- [0032] 다음으로, 상기 광 프로브(300)는 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛이 상기 금속 탐침(100)과 분석물질(S)에 조사될 수 있도록 한다. 한편, 상기 프로브(300)는 반파장 판, 편광 스플리터(PBS), 4f 시스템, 및 대물렌즈(OL)를 포함할 수 있다.
- [0033] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 빛과 분석물질(S)의 상호작용(a) 및 피드백 알고리즘에 대한 그래프(b)를 표시한 도면이다.
- [0034] 도 2 이용하여 빛의 이동경로에 대해 설명해보면, 상기 광 프로브(300)는 상기 반파장 판과 편광 스플리터(PBS)를 이용하여 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛을 편광시켜 수평으로 편광된(TM 편광) 빛만을 상기 파면 제어부(600)로 전달할 수 있다.
- [0035] 다시 말하면, 상기 금속 탐침(100)의 말단 표면과 평행한 선형 편광성분만이 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용을 효과적으로 일으키고, 반면에 타 편광성분은 자동적으로 손실된다. 따라서 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용을 극대화할 수 있도록 수평으로 편광된(TM 편광) 빛만을 상기 파면 제어부(600)로 전달할 수 있도록 한다.
- [0036] 그리고 상기 수평으로 편광된 빛은 상기 파면 제어부(600)에 의하여 파면을 갖는 빛으로 변조된 후 상기 파면 제어부(600)로부터 반사된다. 그리고 상기 파면을 갖는 빛은 상기 4f 시스템을 지나 상기 대물렌즈(OL) 후면에 위치할 수 있고, 상기 대물렌즈(OL)에 의하여 집광되어 상기 금속 탐침(100)과 분석물질(S) 사이에 집중적으로 조사될 수 있다.
- [0037] 여기서, 4f 시스템은 두 개의 렌즈가 짝을 이루어 한 면에서 다른 면으로 전달하는 표준적인 시스템을 말한다. 즉, 4f 시스템은 시작 면에서 첫 렌즈까지의 거리가 f_1 , 첫 렌즈에서 두 번째 렌즈까지의 거리가 f_1+f_2 , 두 번째 렌즈에서 도착 면까지의 거리가 f_2 이고, 이때 f_1 과 f_2 가 같다면 4f의 길이를 갖는 시스템이다.
- [0038] 다음으로, 상기 분광기(400)는 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호를 입력받아 스펙트럼을 생성한다.
- [0039] 이때, 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용은 일반적으로 표면 플라즈몬 편광 또는 표면 플라즈몬 폴라리톤(Surface Plasmon Polariton, 하기 SPP)이라고 일컫는다. SPP는 준입자 또는 양자 현상을 의미하고, 빛과 집단적인 전자파가 금속의 표면에서 강하게 결합하는 것이다.
- [0040] 즉, 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용은 빛에 의하여 상기 금속 탐침(100)에서 강한 국소적인 전자기장이 발생하고, 상기 전자기장에 의하여 상기 분석물질(S) 내 포함된 입자에서 광 신호를 내는 것을 일컫는다. 그리고 상기 탐침증강신호는 상기 분석물질(S)에서 발생된 전자기파를 일컫는다.
- [0041] 즉, 상기 탐침증강신호는 상기 광 프로브(300) 내 대물렌즈(OL)로부터 수집될 수 있고, 상기 분광기(400)는 상기 광 프로브(300)로부터 상기 탐침증강신호를 입력받을 수 있다.
- [0042] 또한, 상기 분광기(400)는 입력받은 상기 탐침증강신호에 대한 상기 스펙트럼을 생성한다. 이때, 여기서 상기 스펙트럼은 탐침증강 라만분광학(Tip-Enhanced Raman Spectroscopy; TERS)을 이용하여 라만 파수에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼, 탐침증강 광발광기술(Tip-Enhanced Photoluminescence; TEPL)을 이용하여 에너지에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼, 및 라만 및 IR 활성모드를 사용한 진동스펙트럼일 수 있다.
- [0043] 한편, 상기 분광기(400)는 열전 장치, 에지 필터, EMCCD(Electron Multiplying CCD) 카메라 및 보정을 위한 수은 램프를 포함할 수 있다.
- [0044] 다음으로, 상기 피드백 제공부(500)는 상기 스펙트럼 내 기준치에 대한 상기 탐침증강신호가 최대로 증폭되는 상기 빛의 파면을 찾도록 단계적으로 피드백을 제공한다.

- [0045] 한편, 상기 피드백 제공부(500)는 스펙트럼에 따른 기준치를 선정할 수 있다. 만약, 상기 스펙트럼이 TEPL 스펙트럼이면 에너지에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼이므로, 상기 기준치로 기준 에너지(eV) 또는 기준 파장을 선정할 수 있다. 그리고 상기 스펙트럼이 TERS 스펙트럼이면 파수에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼이므로, 상기 기준치로 기준 파수(cm^{-1})를 선정할 수 있다.
- [0046] 이는 상기 스펙트럼에 포함된 수많은 에너지, 파수 또는 파장 중에서 상기 피드백 제공부(500)로부터 선정된 상기 기준 에너지, 파수 또는 파장에 대한 피드백을 제공하기 위함이다.
- [0047] 또한, 상기 피드백 제공부(500)는 상기 활성영역을 $N \times N$ 개의 세그먼트로 나누고, 위상 지연 함수를 이용하여 상기 $N \times N$ 개의 세그먼트 각각에 대한 최적 위상을 순차적으로 결정할 수 있다.
- [0048] 이는, 상기 피드백 제공부(500)는 상기 금속 탐침(100)의 말단(110) 표면과 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛의 국지적인 편광성분이 나란해지면 상기 탐침증강신호가 최대 증폭될 수 있다는 원리에 기반을 둔다.
- [0049] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 파면 제어부(600)로부터 빛의 파면이 제어되기 전(a)과 후(b)를 표시한 도면이다.
- [0050] 도 3의 (a)를 보면, 파면 제어 전에는 상기 빛의 파면이 상기 금속 탐침(100)의 말단(110)과 일정 각도를 갖고 퍼지는 형태를 보인다. 도 3의 (b)를 보면, 상기 파면 제어부(600)가 상기 피드백 제공부(500)로부터 제공된 피드백에 따라 빛의 파면 제어한 후에는 상기 빛의 파면이 상기 금속 탐침(100)의 말단(110) 표면과 나란해진 것을 확인할 수 있다.
- [0051] 다음으로, 상기 파면 제어부(600)는 상기 피드백에 따라 상기 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면을 제어한다. 가장 바람직하게, 상기 파면 제어부(600)는 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator, SLM)일 수 있고, 일반적으로 SLM은 레이저광을 반송파로 사용하여 그것을 신호에 의해서 변조하기 위한 장치이다.
- [0052] 즉, 상기 파면 제어부(600)는 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛을 변조할 수 있는 상기 활성영역을 구비할 수 있다. 그리고 상기 파면 제어부(600)는 상기 피드백 제공부(500) 내 피드백 알고리즘에 따라 최적 위상이 결정된 상기 활성영역을 얻기 위해서, 상기 피드백 제공부(500)로부터 제공받은 단계적인 피드백에 따라 상기 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면의 위상을 광축을 기준으로 0π 내지 2π 범위에서 제어할 수 있다.
- [0053] 한편, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템은 수 나노미터 정밀도로 상기 금속 탐침(100)의 수평 또는 수직 위치를 조절할 수 있도록 원자력 현미경(AFM)을 더 포함할 수 있다. 상기 원자력 현미경(AFM)은 상기 피드백 제공부(500)의 피드백에 의하여 상기 금속 탐침(100)의 수평 또는 수직 위치를 조절할 수 있는 것을 특징으로 한다.
- [0054] 이에 따라, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템은 탐침증강 나노분광현미경에 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응광학기술을 접목하여 최대 증폭된 신호를 획득할 수 있는 효과가 있다. 즉, 본 발명은 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응 광학기술을 접목하여 국소 편광성분을 최적화시키는 피드백 알고리즘을 구비함으로써, 최대 증폭된 신호를 획득할 수 있고, 종래 기술대비 2배 이상의 강도를 갖는 신호를 획득할 수 있는 효과가 있다.
- [0056] **근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법**
- [0057] 도 4는 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법 흐름도이다. 도 4를 보면, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법은 빛 방출단계(S100), 빛 조사단계(S200), 스펙트럼 생성단계(S300), 피드백 제공단계(S400) 및 파면 제어단계(S500)를 포함한다.
- [0058] 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법은 빠르게 변화하는 광학적인 왜곡의 영향을 줄여 광학 장치 성능을 향상시킬 수 있는 적응광학기술이 접목된 것으로 적응형 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법이다.
- [0059] 본 발명에 따른 일 실시예에 따르면, 본 발명은 탐침증강 나노분광현미경에 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응 광학기술이 접목되어 최대 증폭된 신호가 획득되는 적응형 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법이다.
- [0060] 보다 구체적으로, 상기 빛 방출단계(S100)는 광원부(200)에 의하여, 빛이 방출된다. 상기 빛 방출단계(S100)는 가장 바람직하게 기 설정된 파장을 방출하는 단색 레이저에 의하여 빛이 방출될 수 있다. 그리고 상기 빛 방출단계(S100)로부터 방출되는 빛은 상기 금속 탐침(100)의 축과 평행한 선형 편광을 갖는 것을 특징으로 한다.

- [0061] 또한, 상기 광원부(200)는 연속파를 방출하는 헬륨(He)-네온(Ne) 레이저일 수 있고, 단일 모드 섬유를 사용하여 공간 필터링 및 공간 일관성을 개선하기 위하여 직경이 확장될 수 있다.
- [0062] 다음으로, 상기 빛 조사단계(S200)는 광 프로브(300)에 의하여, 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛이 금속 탐침(100)과 분석물질(S) 사이에 조사된다.
- [0063] 상기 분석물질(S)은 그래핀 나노 리본 등의 여러 나노 구조체, 나노미터 스케일로 불균일한 자성체, 세라믹 초전도체, 거대자기효과 물질, 반도체 나노소자, 나노 로드(Nano Rod), 초박막 및 브릴리언트 크레실 블루(Brilliant cresyl blue, BCB), 벤젠시올(benzenethiol, BT), 아데닌 단량체(adenine monomer), DNA와 같은 다양한 분자 등일 수 있고, 상기 분석물질(S)의 종류는 기재된 물질에 국한되지 않는다.
- [0064] 상기 금속 탐침(100)은 말단(110)이 분석물질(S)과 인접하게 위치된다. 상기 금속 탐침(100)은 금속으로 코팅되거나, 금속 그 자체일 수 있다. 상기 금속은 금(Au), 백금(Pt), 은(Ag), 팔라듐(Pd), 텅스텐(W), 알루미늄(Al), 크롬(Cr) 또는 전도성의 금속 재질일 수 있고, 상기 금속은 금(Au) 또는 은(Ag)이 가장 바람직하다.
- [0065] 또한, 상기 금속 탐침(100)의 말단(110)의 단면적으로부터 상기 분석물질(S)까지의 간격은 수 나노미터(nm)일 수 있다. 가장 바람직하게 상기 금속 탐침(100)의 말단(110)과 상기 분석물질(S)의 간격은 2 내지 5nm로 한다.
- [0066] 이유는, 상기 간격이 2nm 미만일 경우에는 간격이 협소하거나 간격이 존재하지 않게 됨으로 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용이 일어나기 어려운 조건이 될 수 있다. 그리고 상기 간격이 5nm 초과일 경우에는 간격이 넓어져 상기 빛과 분석 물질(S)과의 상호작용이 줄어들고 이로 인해 탐침증강신호의 강도도 약해지는 단점이 있기 때문이다.
- [0067] 또한, 도 1을 이용하여 빛의 이동경로에 대해 설명해보면, 상기 빛 조사단계(S200)는 상기 광 프로브(300) 내 상기 반파장 판과 편광 스플리터(PBS)가 이용되어 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛이 편광되어 수평으로 편광된(TM 편광) 빛만이 상기 파면 제어부(600)로 전달될 수 있다. 그리고 상기 수평으로 편광된 빛은 상기 파면 제어부(600)에 의하여 파면을 갖는 빛으로 변조된 후 상기 파면 제어부(600)로부터 반사된다. 그리고 상기 파면을 갖는 빛은 상기 광 프로브(300) 내 4f 시스템을 지나 상기 대물렌즈(OL) 후면에 위치될 수 있고, 상기 대물렌즈(OL)에 의하여 집광되어 상기 금속 탐침(100)과 분석물질(S) 사이에 집중적으로 조사될 수 있다.
- [0068] 다음으로, 상기 스펙트럼 생성단계(S300)는 분광기(400)에 의하여, 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호가 입력되어 스펙트럼이 생성된다.
- [0069] 이때, 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용은 일반적으로 표면 플라즈몬 편광 또는 표면 플라즈몬 폴라리톤(Surface Plasmon Polariton, 하기 SPP)이라고 일컫는다. SPP는 준입자 또는 양자 현상을 의미하고, 빛과 집단적인 전자파가 금속의 표면에서 강하게 결합하는 것이다.
- [0070] 즉, 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용은 빛에 의하여 상기 금속 탐침(100)에서 강한 국소적인 전자기장이 발생되고, 상기 전자기장에 의하여 상기 분석물질(S) 내 포함된 입자가 증강되는 것을 일컫는다. 그리고 상기 탐침증강신호는 상기 금속 탐침(100)에서 발생된 강한 국소적인 전자기장에서 진행하는 전자기파를 일컫는다.
- [0071] 즉, 상기 탐침증강신호는 상기 광 프로브(300) 내 대물렌즈(OL)로부터 수집될 수 있고, 상기 스펙트럼 생성단계(S300)는 상기 광 프로브(300)로부터 상기 탐침증강신호가 입력될 수 있다.
- [0072] 그리고 상기 스펙트럼 생성단계(S300)는 입력받은 상기 탐침증강신호에 대한 상기 스펙트럼이 생성된다. 이때, 여기서 상기 스펙트럼은 탐침증강 라만분광학(Tip-Enhanced Raman Spectroscopy; TERS)을 이용하여 라만 파수에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼, 탐침증강 광발광기술(Tip-Enhanced Photoluminescence; TEPL)을 이용하여 에너지에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼, 및 라만 및 IR 활성모드를 사용한 진동스펙트럼일 수 있다.
- [0073] 다음으로, 상기 피드백 제공단계(S400)는 피드백 제공부(500)에 의하여, 상기 스펙트럼 내 기준치에 대한 상기 탐침증강신호가 최대로 증폭되는 상기 빛의 파면이 찾아지도록 단계적으로 피드백이 제공된다.
- [0074] 또한, 상기 피드백 제공단계(S400)는 상기 금속 탐침(100)의 말단(110) 표면과 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛의 국지적인 편광성분이 나란해지는 경우 상기 탐침증강신호가 최대로 증폭된 것으로 판단될 수 있다.
- [0075] 도 5는 본 발명의 피드백 제공단계(S400)의 세부흐름도이다. 도 5를 보면, 상기 피드백 제공단계(S400)는 활성영역 분할단계(S410) 및 최적 위상 결정단계(S420)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0076] 보다 구체적으로, 상기 활성영역 분할단계(S410)는 상기 활성영역이 $N \times N$ 개의 세그먼트로 나뉘질 수 있다. 여기서, 상기 N 은 양의 정수이다. 상기 최적 위상 결정단계(S420)는 위상 지연 함수가 이용되어 상기 $N \times N$ 개의 세그먼트가 순차적으로 최적 위상이 결정될 수 있다. 그리고 상기 최적 위상 결정단계(S420)는 상기 $N \times N$ 개의 세그먼트에 대한 최적 위상이 모두 결정된 후 상기 파면 제어단계(S500)로 피드백을 제공할 수 있다.
- [0077] 예컨대, 도 2를 보면, 상기 활성영역 분할단계(S410)는 0π 내지 2π 범위에서 독립적으로 각 세그먼트의 위상이 제어하는 피드백이 제공되도록 상기 파면 제어부(600)의 활성영역의 600×600 픽셀이 12×12 세그먼트로 나뉘질 수 있다.
- [0078] 그리고 상기 최적 위상 결정단계(S420)는 12×12 세그먼트에서 첫 번째 세그먼트를 대상으로 위상 지연 함수가 이용되어 최적 위상이 결정된다. 그리고 상기 최적 위상 결정단계(S420)는 나머지 세그먼트를 대상으로 순차적으로 각 세그먼트의 최적 위상이 결정될 수 있도록 반복된다. 최종적으로 상기 12×12 세그먼트에 대해서 최적 위상이 모두 결정된 후 피드백이 상기 파면 제어부(600)로 전송된다.
- [0079] 한편, 상기 피드백 제공단계(S400)는 기준치 선정단계(S430)를 더 포함할 수 있다. 상기 기준치 선정단계(S430)는 스펙트럼에 따른 기준치가 선정될 수 있다. 만약, 상기 스펙트럼이 TEPL 스펙트럼이면 에너지에 대한 탐침 증강신호의 강도에 대한 스펙트럼이므로, 상기 기준치로 기준 에너지(eV) 또는 기준 파장이 선정될 수 있다. 그리고 상기 스펙트럼이 TERS 스펙트럼이면 파수에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼이므로, 상기 기준치로 기준 파수(cm^{-1})가 선정될 수 있다.
- [0080] 이는 상기 스펙트럼에 포함된 수많은 에너지, 파수 또는 파장 중에서 상기 기준치 선정단계(S430)로부터 선정된 상기 기준 에너지, 파수 또는 파장에 대한 피드백이 제공되기 위함이다.
- [0081] 다음으로, 상기 파면 제어단계(S500)는 파면 제어부(600)에 의하여, 상기 피드백에 따라 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면이 제어된다.
- [0082] 이때, 상기 파면 제어단계(S500)는 상기 피드백 제공부(500) 내 피드백 알고리즘에 따라 최적 위상이 결정된 상기 활성영역이 얻어지기 위해서, 상기 피드백 제공단계(S400)로부터 제공받은 단계적인 피드백에 따라 상기 활성영역을 구성하는 각각의 세그먼트에 대한 상기 빛의 파면의 위상을 광축을 기준으로 0π 내지 2π 범위에서 제어될 수 있다.
- [0083] 이에 따라, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템의 제어방법은 탐침증강 나노분광현미경에 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응광학기술이 적용되어 최대로 증폭된 신호가 획득될 수 있는 효과가 있다. 즉, 본 발명은 국소적으로 편광성분을 바꾸는 적응 광학기술이 적용되어 국소 편광성분을 최적화시키는 피드백 알고리즘이 구비됨으로써, 최대로 증폭된 신호가 획득될 수 있고, 종래 기술대비 2배 이상의 강도를 갖는 신호가 획득될 수 있는 효과가 있다.
- [0085] **실시예 1 : 이셀레늄화텅스텐(WSe_2)**
- [0086] **실험방법**
- [0087] 본 발명의 일실시예는 상기 분석물질(S)로 금(Au) 필름 상에 전사된 반도체 소재인 이셀레늄화텅스텐(WSe_2)이 준비되었다. 이때, 상기 전사된 이셀레늄화텅스텐(WSe_2)은 단분자층(monolayers)이다.
- [0088] 상기 금(Au) 필름 상에 이셀레늄화텅스텐(WSe_2)을 전사시키기 위해, SiO_2 기판에서 성장한 이셀레늄화텅스텐(WSe_2) 단분자층 위에 폴리메틸메타크릴레이트(polymethyl methacrylate; PMMA)가 스핀 코팅되었다. 스핀 코팅은 코팅할 물질의 용액이나 액체 물질을 기질 위에 떨어뜨리고 고속으로 회전시켜 얇게 퍼지게 하는 코팅방법이다. 그리고 상기 PMMA가 코팅된 이셀레늄화텅스텐(WSe_2) 단분자층은 불화수소(HF) 용액이 이용되어 상기 SiO_2 기판으로부터 분리되고 조심스럽게 금(Au) 필름 상에 옮겨졌다.
- [0089] 그리고 상기 금(Au) 필름 상에 옮겨진 상기 이셀레늄화텅스텐(WSe_2)이 증류수로 행궤져 잔여 애칭액이 제거되었고, 접착력을 향상시키기 위해 6시간 동안 자연건조 되었다. 마지막으로, 아세톤을 이용하여 상기 PMMA가 제거되었다.

- [0090] 본 발명의 일실시예는 연속파를 갖는 헬륨(He)-네온(Ne) 레이저로부터 632.8nm 파장의 빛이 방출되었다. 상기 금속 탐침(100)은 금(Au)으로 형성되었다. 상기 금속 탐침(100)의 말단(110)의 단면적으로부터 상기 분석물질(S)까지의 간격은 2 나노미터(nm)로 설정되었다.
- [0091] 또한, 상기 헬륨(He)-네온(Ne) 레이저로부터 방출된 빛은 상기 광 프로브(300) 내 상기 반파장 판과 편광 스플리터(PBS)가 이용되어 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛이 편광되어 수평으로 편광된(TM 편광) 빛만이 상기 파면 제어부(600)로 전달되었다. 그리고 상기 수평으로 편광된 빛은 상기 파면 제어부(600)에 의하여 파면을 갖는 빛으로 변조된 후 상기 파면 제어부(600)로부터 반사되었다. 그리고 상기 파면을 갖는 빛은 상기 광 프로브(300) 내 4f 시스템을 지나 상기 대물렌즈(OL) 후면에 위치된 후 상기 대물렌즈(OL)에 의하여 집광되어 상기 금속 탐침(100)과 분석물질(S) 사이에 집중적으로 조사되었다. 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호는 상기 광 프로브(300) 내 대물렌즈(OL)로부터 수집된 후 분광기(400)로 전송되었다.
- [0092] 다음으로, 본 발명의 일실시예는 상기 탐침증강신호에 따른 탐침증강 라만분광학(Tip-Enhanced Raman Spectroscopy; TERS)을 이용하여 라만 파수에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼과, 탐침증강 광발광기술(Tip-Enhanced Photoluminescence; TEPL)을 이용하여 에너지에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼이 생성되었다.
- [0093] 우선, TERS 스펙트럼 내 기준 파수(cm^{-1}) 255cm^{-1} 에 대한 상기 탐침증강신호가 최대 증폭되는 상기 빛의 파면이 찾아지도록 상기 파면 제어부(600)의 활성영역을 형성하는 600×600 픽셀이 $12 \times 12(144)$ 개의 세그먼트로 나뉘었다.
- [0094] 그리고 상기 $12 \times 12(144)$ 개의 세그먼트에서 첫 번째 세그먼트를 대상으로 위상 지연 함수가 이용되어 최적 위상이 결정되었고, 이후에 상기 $12 \times 12(144)$ 개의 세그먼트에서 나머지 세그먼트를 대상으로 순차적으로 각 세그먼트의 최적 위상이 결정되었다.
- [0095] 또한, TEPL 스펙트럼 내 기준 에너지(eV) 1.65eV에 대한 상기 탐침증강신호가 최대 증폭되는 상기 빛의 파면이 찾아지도록 상기 파면 제어부(600)의 활성영역을 형성하는 600×600 픽셀이 $12 \times 12(144)$ 개의 세그먼트로 나뉘었다.
- [0096] 그리고 상기 $12 \times 12(144)$ 개의 세그먼트에서 첫 번째 세그먼트를 대상으로 위상 지연 함수가 이용되어 최적 위상이 결정되었고, 이후에 상기 $12 \times 12(144)$ 개의 세그먼트에서 나머지 세그먼트를 대상으로 순차적으로 각 세그먼트의 최적 위상이 결정되었다.
- [0097] 다음으로, 본 발명의 일실시예는 상기 순차적으로 상기 $12 \times 12(144)$ 개의 세그먼트에 대한 피드백에 따라 상기 빛의 파면의 위상을 광축을 기준으로 0^π 내지 2^π 범위에서 제어되었다.
- [0099] **실험결과**
- [0100] 본 발명의 일실시예에 따라 획득된 탐침증강신호를 분석해보면 하기와 같다.
- [0101] 도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 TEPL(a) 및 TERS(b)에 대한 금(Au) 필름 상에 전사된 WSe₂의 원거리 필드(far-field), 종래 탐침증강신호 및 본 발명의 탐침증강신호의 강도를 각각 비교한 그래프이다.
- [0102] 도 6의 (a)는 TEPL 기술기반으로 에너지에 대한 탐침증강신호의 강도를 확인한 것으로, 기준 에너지 1.65eV를 기준으로 탐침증강신호의 강도를 보면 금(Au) 필름에 전사된 WSe₂의 원거리 필드(far-field)가 검정색 그래프로 강도 1에 위치하며 가장 낮은 것을 알 수 있다. 그리고 종래 탐침증강 나노분광현미경으로부터 생성한 탐침증강신호의 강도는 파란색 그래프로 강도 4에 위치하는 것을 알 수 있다. 그리고 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템으로부터 생성한 탐침증강신호의 강도는 빨간색 그래프로 강도 7 이상에 위치하는 것을 알 수 있다.
- [0103] 또한, 도 6의 (b)는 TERS 기술기반으로 라만 파수에 대한 탐침증강신호의 강도를 확인한 것으로 기준 파수 255cm^{-1} 를 기준으로 탐침증강신호의 강도를 보면 금(Au) 필름에 전사된 WSe₂의 원거리 필드(far-field)가 검정색 그래프로 강도 2에 위치하며 가장 낮은 것을 알 수 있다. 그리고 종래 탐침증강 나노분광현미경으로부터 생성한 탐침증강신호의 강도는 파란색 그래프로 강도 5.4 정도에 위치하는 것을 알 수 있다. 그리고 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템으로부터 생성한 탐침증강신호의 강도는 빨간색 그래프로 강도 11 이상에 위치하는 것을 알

수 있다.

[0104] 이에 따라, 본 발명의 일실시예에 따른 근접장 광학 현미경 시스템은 TEPL 및 TERS 기술기반으로 얻은 모든 스펙트럼에 대해서 종래 기술 대비 2배 이상의 탐침증강신호를 획득할 수 있는 것을 증명할 수 있다.

[0106] 실시예 2 : 브릴리언트 크레실 블루(BCB)

[0107] 실험방법

[0108] 본 발명의 이실시예는 상기 분석물질(S)로 금(Au) 필름 상에 코팅된 브릴리언트 크레실 블루(Brilliant Cresyl Blue; BCB)가 준비되었다.

[0109] 즉, 상기 BCB는 단층 커버리지가 적은 에탄올 용액에서 15초 동안 3000rpm으로 스핀 코팅되었다. 그리고 상기 BCB는 원자층 증착(ALD)을 이용하여 0.5nm 두께의 산화알루미늄(Al_2O_3) 단층으로 덮여졌다. 이는 실온에서 회전 및 구조적 확산과 같은 분자의 열 활성화 프로세스를 억제하기 위함이다.

[0110] 본 발명의 이실시예는 연속파를 갖는 헬륨(He)-네온(Ne) 레이저로부터 632.8nm 파장의 빛이 방출되었다. 상기 금속 탐침(100)은 금(Au)으로 형성되었다. 상기 금속 탐침(100)의 말단(110)의 단면적으로부터 상기 분석물질(S)까지의 간격은 2 나노미터(nm)로 설정되었다.

[0111] 또한, 상기 헬륨(He)-네온(Ne) 레이저로부터 방출된 빛은 상기 광 프로브(300) 내 상기 반파장 판과 편광 스플리터(PBS)가 이용되어 상기 광원부(200)로부터 방출된 빛이 편광되어 수평으로 편광된(TM 편광) 빛만이 상기 파면 제어부(600)로 전달되었다. 그리고 상기 수평으로 편광된 빛은 상기 파면 제어부(600)에 의하여 파면을 갖는 빛으로 변조된 후 상기 파면 제어부(600)로부터 반사되었다. 그리고 상기 파면을 갖는 빛은 상기 광 프로브(300) 내 4f 시스템을 지나 상기 대물렌즈(OL) 후면에 위치된 후 상기 대물렌즈(OL)에 의하여 집광되어 상기 금속 탐침(100)과 분석물질(S) 사이에 집중적으로 조사되었다. 상기 빛과 분석물질(S)과의 상호작용으로 생성된 탐침증강신호는 상기 광 프로브(300) 내 대물렌즈(OL)로부터 수집된 후 분광기(400)로 전송되었다.

[0112] 다음으로, 본 발명의 이실시예는 상기 탐침증강신호에 따른 탐침증강 라만분광학(Tip-Enhanced Raman Spectroscopy; TERS)을 이용하여 라만 파수에 대한 탐침증강신호의 강도에 대한 스펙트럼과, 라만 및 IR 활성모드가 사용된 진동스펙트럼이 생성되었다.

[0113] 다만, 본 발명의 이실시예는 상기 피드백 제공부(500)로부터 피드백을 제공받지 않고, 상기 파면 제어부(600)를 이용하여 상기 빛의 파면의 위상을 광축을 기준으로 0π 내지 2π 범위에서 제어되었다.

[0115] 실험결과

[0116] 본 발명의 이실시예에 따라 획득된 탐침증강신호를 분석해보면 하기와 같다.

[0117] 도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 TERS에 대한 금(Au) 필름 상에 코팅된 BCB의 원거리 필드(far-field) 및 빛의 파면(ϕ_1 , ϕ_2)에 따른 탐침증강신호의 강도를 나타낸 그래프(a)와 라만 및 IR 활성모드를 사용한 진동스펙트럼(b)을 표시한 도면이다.

[0118] 도 7의 (a)를 보면, TERS에 대한 금(Au) 필름 상에 코팅된 BCB의 원거리 필드(far-field)는 검정색 그래프로, 라만 산란에 대한 신호 및 탐침증강신호가 측정되지 않는다.

[0119] 반면에 본 발명의 탐침증강신호는 빨간색 그래프로, 상기 빛이 제 1 파면(ϕ_1)을 갖는 경우 585cm^{-1} 기준 파수에서 강한 라만 신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 종래 탐침증강신호 대비 2배 이상 증폭된 신호이다. 그리고 상기 빛이 제 2 파면(ϕ_2)을 갖는 585cm^{-1} 기준 파수에서 강한 라만 신호가 나타날 뿐만 아니라 파수 613cm^{-1} 에서 강한 IR 신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. 도 7의 (b)를 보면, 라만 및 IR 활성모드를 사용한 진동스펙트럼(b)에서 도 역시 강한 라만 신호 및 IR 신호가 획득된 것을 확인할 수 있다.

[0120] 이에 따라, 본 발명의 근접장 광학 현미경 시스템은 라만 신호를 획득하는 것에만 한정하지 않고, 다양한 스펙

트럼으로부터 종래 대비 강한 라만 신호 및 IR 신호를 획득할 수 있는 효과가 있다.

[0122] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

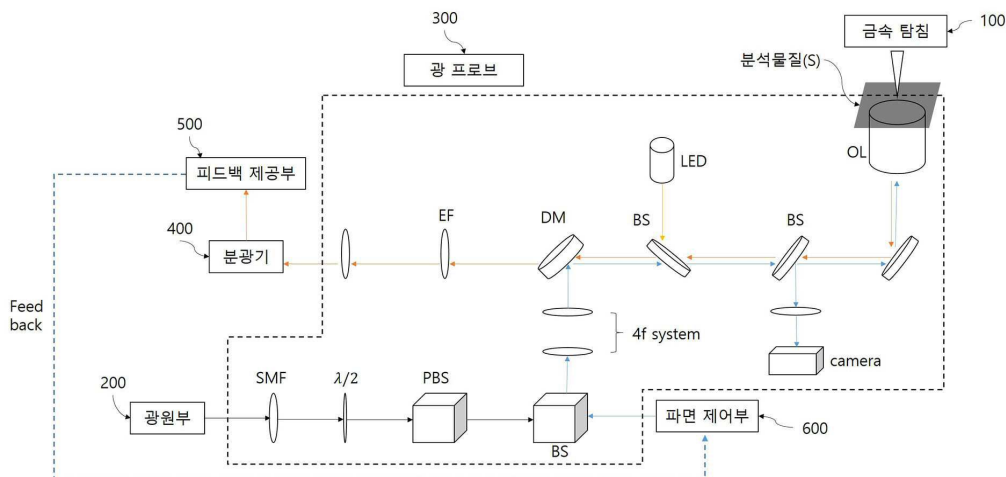
[0123] 그러므로 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

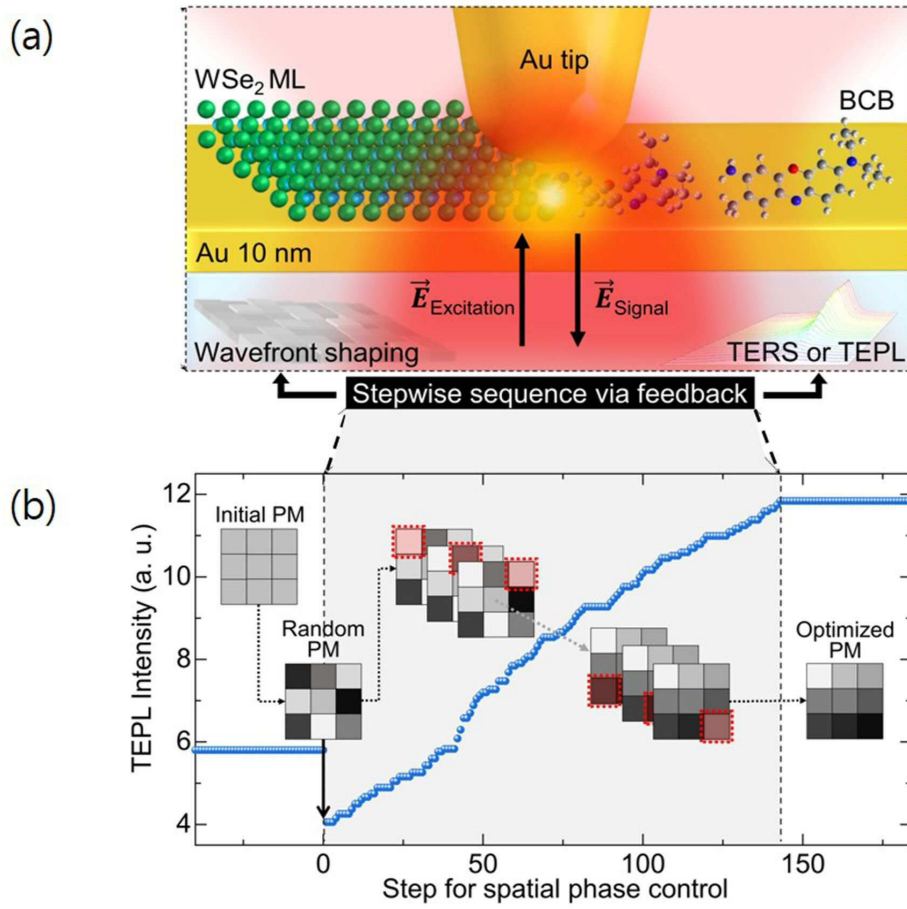
[0124] 100.. 금속 탐침
110.. 말단
200.. 광원부
300.. 광 프로브
400.. 분광기
500.. 피드백 제공부
600.. 파면 제어부
S.. 분석물질

도면

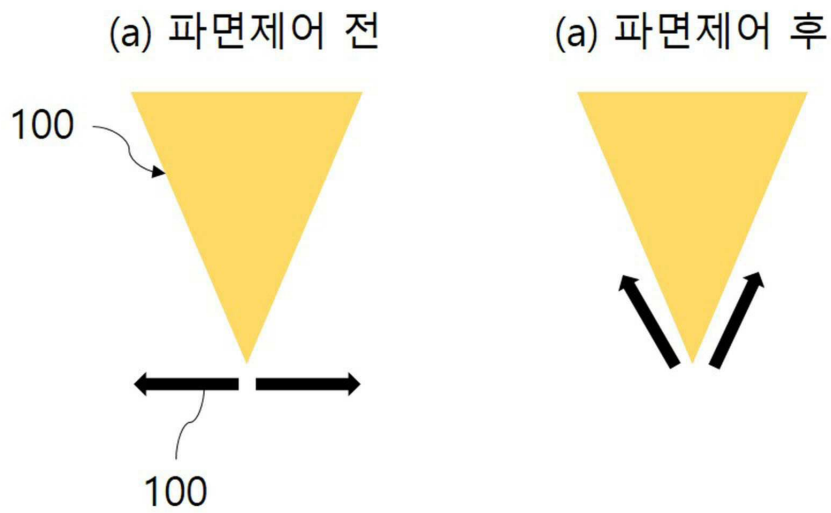
도면1



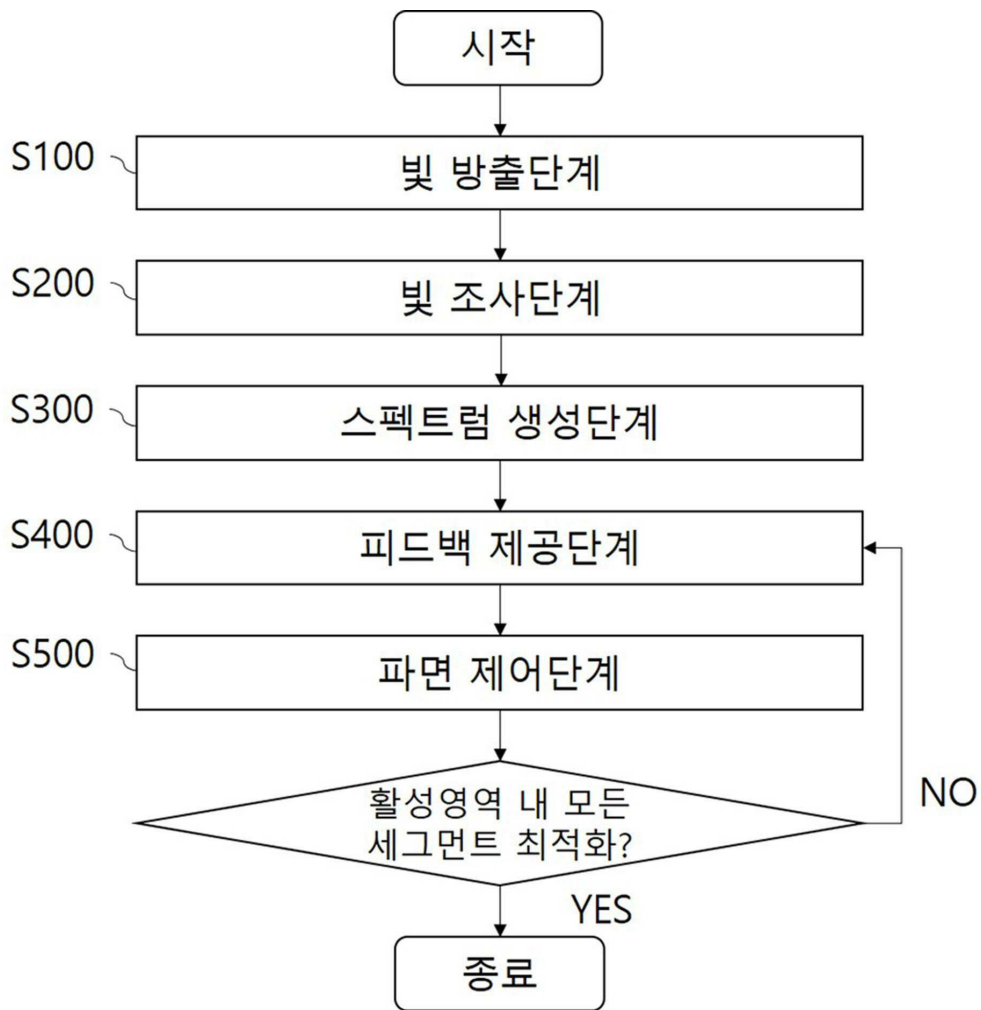
도면2



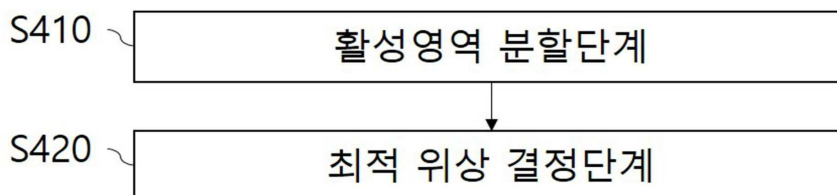
도면3



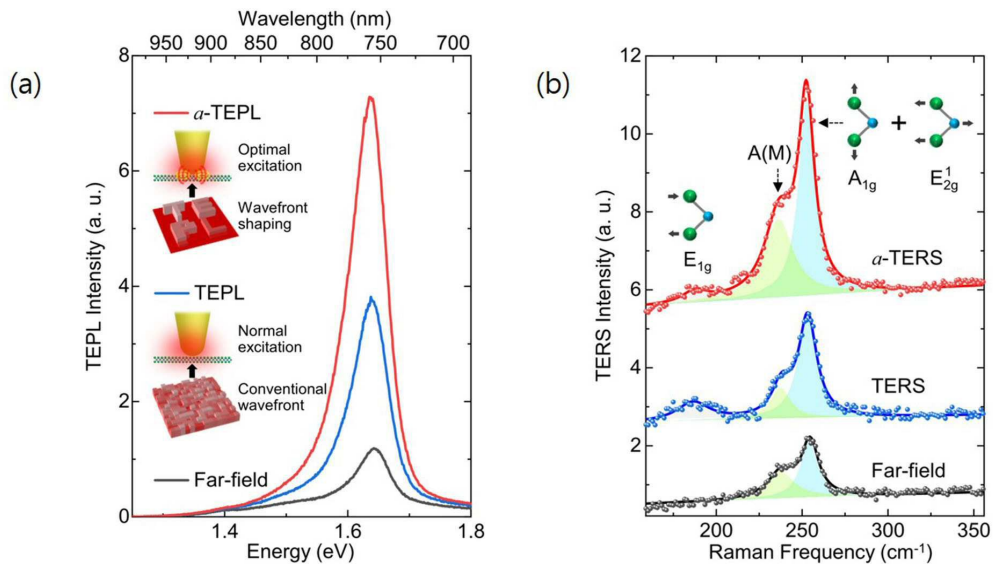
도면4



도면5



도면6



도면7

