



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0135710
(43) 공개일자 2022년10월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 21/31 (2006.01) G01N 21/359 (2014.01)

G01N 21/41 (2006.01) G01N 21/47 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 21/314 (2013.01)

G01N 21/359 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0041755

(22) 출원일자 2021년03월31일

심사청구일자 2021년03월31일

(71) 출원인

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

김덕영

서울특별시 성동구 독서당로40길 25, 105동 704호(옥수동, 옥수현대아파트)

김준우

서울특별시 서대문구 연희로10길 43-55(연희동)

(74) 대리인

특허법인(유한)아이시스

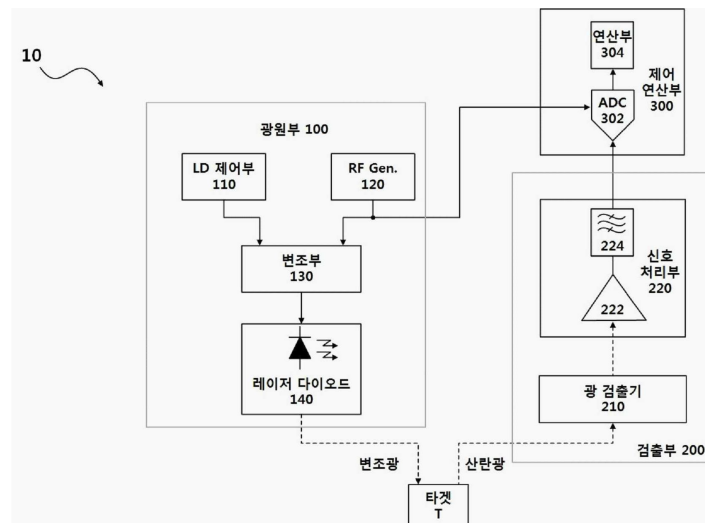
전체 청구항 수 : 총 22 항

(54) 발명의 명칭 변조광을 이용하는 광학적 분석 방법 및 광학적 분석 장치

(57) 요약

본 실시예에 의한 광학적 분석 방법은 타겟에 변조된 광을 입사시키는 변조 광 입사 단계와, 타겟에서 산란된 산란광을 검출하여 타겟 내 광의 광경로 길이를 연산하는 광경로 길이 연산 단계와, 광경로 길이로부터 흡광도 변화를 연산하는 흡광도 변화 연산 단계를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G01N 21/41 (2013.01)

G01N 21/47 (2013.01)

G01N 2021/418 (2013.01)

G01N 2021/4186 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

타겟에 변조된 광을 입사시키는 변조 광 입사 단계와,

상기 타겟에서 산란된 산란광을 검출하여 상기 타겟 내 상기 광의 광경로 길이를 연산하는 광 경로 길이 연산 단계와,

상기 광경로 길이로부터 흡광도 변화를 연산하는 흡광도 변화 연산 단계를 포함하는 광학적 분석 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 타겟에 입사된 상기 변조된 광은,

수 MHz ~ 수 GHz의 주파수를 가지도록 변조된 광인 광학적 분석 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 타겟에 입사된 상기 변조된 광은,

600nm 내지 2500nm 중 어느 한 파장을 가지는 광인 광학적 분석 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 변조 광 입사 단계는,

서로 다른 파장을 가지는 복수의 광을 상기 타겟에 입사하여 수행하는 광학적 분석 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 광 경로 길이 연산 단계는,

상기 타겟에 제공된 입사광과 상기 타겟에서 산란된 산란광의 위상차를 연산하는 단계와,

연산된 상기 위상차로부터 상기 광경로 길이를 연산하여 수행하는 광학적 분석 방법.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 위상차를 연산하는 단계는,

상기 입사광과 상기 산란광에 상응하는 신호를 FFT(fast fourier transform)하여 수행하는 광학적 분석 방법.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 광경로 길이를 연산하는 단계는, 수학적식

$$L = \frac{c\Delta\phi_{sample}}{2n\pi f_{RF}}$$

을 연산하여 수행하는 광학적 분석 방법.

(L : 광경로 길이, $\Delta \Phi_{\text{sample}}$: 위상차, f_{RF} : 변조된 광의 주파수, n : 타겟의 굴절율, L : 광경로, c : 광속)

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 흡광도 변화 연산 단계는,
이미 흡광도를 알고 있는 기준 물체(reference object)와,
상기 타겟의 흡광도의 차이를 연산하여 수행하는 광학적 분석 방법.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 흡광도 변화 연산 단계는, 수학적식

$$\Delta \mu_a = -\frac{1}{L} \ln \left(\frac{I_a}{I_0} \right)$$

을 연산하여 수행하는 광학적 분석 방법

($\Delta \mu_a$: 흡광도 변화, L : 광경로 길이, I_a : 제1 산란광의 세기, I_0 : 제2 산란광 세기)

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 광학적 분석 방법은,
상기 산란광의 검출과 동시에 상기 흡광도 변화 연산이 수행되는 광학적 분석 방법.

청구항 11

제5항에 있어서,
상기 광학적 분석 방법은,
위상차 교정(calibration) 단계를 더 포함하며, 상기 위상차 교정 단계는,
교정 위상차를 구하는 단계와,
연산된 상기 위상차에서 상기 교정 위상차의 차이를 연산하여 수행하는 광학적 분석 방법.

청구항 12

타겟을 광학적으로 분석하는 광학적 분석 장치로, 상기 광학적 분석 장치는:
미리 정해진 주파수로 변조된 변조광을 제공하는 광원부;
상기 타겟에 제공되어 형성된 산란광을 검출하여 전기적 신호로 출력하는 검출부; 및
상기 전기적 신호로부터 상기 타겟을 광학적으로 분석하는 제어 연산부를 포함하며, 상기 제어 연산부는,
상기 전기적 신호로부터 상기 타겟 내 상기 광의 광경로 길이를 연산하는 광 경로 길이 연산 단계와,
상기 광경로 길이로부터 흡광도 변화를 연산하는 흡광도 변화 연산 단계를 수행하여 상기 타겟의 흡광도 변화를 연산하는 광학적 분석 방법을 수행하는 광학적 분석 장치.

청구항 13

제12항에 있어서,
상기 타겟에 입사된 상기 변조광은,
수 MHz ~ 수 GHz의 주파수를 가지도록 변조된 광인 광학적 분석 장치.

청구항 14

제12항에 있어서,
상기 타겟에 입사된 상기 변조광은,
600nm 내지 2500nm 중 어느 한 파장을 가지는 광인 광학적 분석 장치.

청구항 15

제12항에 있어서,
상기 광원부는,
RF 신호 생성기와,
서로 다른 파장을 가지는 복수의 광을 제공하는 레이저 다이오드들과,
상기 RF 신호 생성기가 형성한 RF 신호로 상기 레이저 다이오드가 제공한 광을 변조하여 상기 변조광을 형성하는 변조부를 포함하며,
상기 RF 신호는 상기 제어 연산부에 제공되는 광학적 분석 장치.

청구항 16

제12항에 있어서,
상기 광 경로 길이 연산 단계는,
상기 타겟에 제공된 입사광과 상기 타겟에서 산란된 산란광의 위상차를 연산하는 단계와,
연산된 상기 위상차로부터 상기 광경로 길이를 연산하여 수행하는 광학적 분석 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,
상기 위상차를 연산하는 단계는,
상기 입사광과 상기 산란광에 상응하는 신호를 FFT(fast fourier transform)하여 수행하는 광학적 분석 방법.

청구항 18

제17항에 있어서,
상기 광경로 길이를 연산하는 단계는, 수학적

$$L = \frac{c\Delta\phi_{sample}}{2n\pi f_{RF}}$$

을 연산하여 수행하는 광학적 분석 장치.

(L: 광경로 길이, $\Delta\phi_{sample}$: 위상차, f_{RF} : 변조된 광의 주파수, n: 타겟의 굴절율, L: 광경로, c: 광속)

청구항 19

제12항에 있어서,
상기 흡광도 변화 연산 단계는,
이미 흡광도를 알고 있는 기준 물체(reference object)와,
상기 타겟의 흡광도의 차이를 연산하여 수행하는 광학적 분석 장치.

청구항 20

제12항에 있어서,

상기 흡광도 변화 연산 단계는, 수학적식

$$\Delta\mu_a = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{I_a}{I_0}\right)$$

을 연산하여 수행하는 광학적 분석 장치.

($\Delta\mu_a$: 흡광도 변화, L: 광경로 길이, I_a : 제1 산란광의 세기, I_0 : 제2 산란광 세기)

청구항 21

제12항에 있어서,

상기 광학적 분석 방법은,

상기 산란광의 검출과 동시에 상기 흡광도 변화 연산이 수행되는 광학적 분석 장치.

청구항 22

제16항에 있어서,

상기 광학적 분석 방법은,

위상차 교정(calibration) 단계를 더 포함하며, 상기 위상차 교정 단계는,

교정 위상차를 구하는 단계와,

상기 위상차에서 상기 교정 위상차의 차이를 연산하여 수행하는 광학적 분석 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기술은 광학적 분석 방법 및 광학적 분석 장치와 관련된다.

배경 기술

[0002] 광학적 분석 방법 및 광학적 분석 장치는 분석 대상물을 파괴하지 않고 분석을 수행할 수 있다는 점에서 각광을 받고 있다. 특히 의료 분야에서는 비침습적으로 대상을 분석할 수 있다는 장점으로부터 다양한 의학 및 연구 분야에서 응용되는 추세이다. 특히 기존 생체의 분석에 이용되던 MRI에 비해 측정이 간편하고 빠르며 실시간, 실시간 분석이 가능하므로 활발하게 응용되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 종래의 FD-fNIRS 등의 광학적 분석 방법은 측정 결과를 비선형 최소자승법(Non-Linear Least Square, NLLS)을 이용하여 비선형 피팅(non-linear fitting)을 수행하고, 수많은 반복적인 계산을 통해 타겟의 목적 특성을 검출한다. 이러한 종래 기술의 계산 시간 한계는 실시간 분석을 어렵게 만드는 주요한 요인이다.

[0004] 본 기술로 해결하고자 하는 과제 중 하나는 상술한 종래 기술의 난점을 극복하기 위한 것이다. 본 기술로 해결하고자 하는 과제 중 하나는 측정과 동시에 타겟의 목적하는 특성을 연산할 수 있는 분석 방법 및 분석 장치를 제공하기 위한 것이다

과제의 해결 수단

[0005] 본 실시예에 의한 광학적 분석 방법은 타겟에 변조된 광을 입사시키는 변조 광 입사 단계와, 타겟에서 산란된 산란광을 검출하여 타겟 내 광의 광경로 길이를 연산하는 광경로 길이 연산 단계와, 광경로 길이로부터 흡광도 변화를 연산하는 흡광도 변화 연산 단계를 포함한다.

[0006] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 타겟에 입사된 변조된 광은, 수 MHz ~ 수 GHz의 주파수를 가지도록 변조된 광이다.

- [0007] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 타겟에 입사된 변조된 광은, 600nm 내지 2500nm 중 어느 한 파장을 가지는 광이다.
- [0008] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 변조 광 입사 단계는, 서로 다른 파장을 가지는 복수의 광을 타겟에 입사시켜 수행한다.
- [0009] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광 경로 길이 연산 단계는, 타겟에 제공된 입사광과 타겟에서 산란된 산란광의 위상차를 연산하는 단계와, 연산된 위상차로부터 광경로 길이를 연산하여 수행한다.
- [0010] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 위상차를 연산하는 단계는, 입사광과 산란광에 상응하는 신호를 FFT(fast fourier transform)하여 수행한다.
- [0011] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광경로 길이를 연산하는 단계는, 수학적
$$L = \frac{c\Delta\phi_{sample}}{2n\pi f_{RF}}$$
 을 연산하여 수행한다.
- [0012] (L: 광경로 길이, $\Delta\phi_{sample}$: 위상차, f_{RF} : 변조된 광의 주파수, n: 타겟의 굴절율, L: 광경로, c: 광속)
- [0013] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 흡광도 변화 연산 단계는, 이미 흡광도를 알고 있는 기준 물체(reference object)와, 타겟의 흡광도의 비율을 연산하여 수행한다.
- [0014] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 흡광도 변화 연산 단계는, 수학적
$$\Delta\mu_a = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{I_a}{I_0}\right)$$
 을 연산하여 수행한다.
- [0015] ($\Delta\mu_a$: 흡광도 변화, L: 광경로 길이, I_a : 타겟의 산란광의 세기, I_0 : 기준 물체의 산란광 세기)
- [0016] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광학적 분석 방법은, 산란광의 검출과 동시에 흡광도 변화 연산이 수행된다.
- [0017] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광학적 분석 방법은, 위상차 교정(calibration) 단계를 더 포함하며, 위상차 교정 단계는, 광 제공점에서 광 검출 점까지의 거리로부터 교정 위상차를 구하는 단계와, 연산된 위상차에서 교정 위상차의 차이를 연산하여 수행한다.
- [0018] 본 실시예에 의한 광학적 분석 장치는: 타겟을 광학적으로 분석하는 광학적 분석 장치로, 광학적 분석 장치는: 미리 정해진 주파수로 변조된 변조광을 제공하는 광원부; 타겟에 제공되어 형성된 산란광을 검출하여 전기적 신호로 출력하는 검출부; 및 전기적 신호로부터 타겟을 광학적으로 분석하는 제어 연산부를 포함하며, 제어 연산부는, 전기적 신호로부터 타겟 내 광의 광경로 길이를 연산하는 광경로 길이 연산 단계와, 광경로 길이로부터 흡광도 변화를 연산하는 흡광도 변화 연산 단계를 수행하여 타겟의 흡광도 변화를 연산하는 광학적 분석 방법을 수행한다.
- [0019] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 타겟에 입사된 변조광은, 수 MHz ~ 수 GHz의 주파수를 가지도록 변조된 광이다.
- [0020] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 타겟에 입사된 변조광은, 600nm 내지 2500nm 중 어느 한 파장을 가지는 광이다.
- [0021] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광원부는, RF 신호 생성기와, 서로 다른 파장을 가지는 복수의 광을 제공하는 레이저 다이오드들과, RF 신호 생성기가 형성한 RF 신호로 레이저 다이오드가 제공한 광을 변조하여 변조광을 형성하는 변조부를 포함하며, RF 신호는 제어 연산부에 제공된다.
- [0022] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광경로 길이 연산 단계는, 타겟에 제공된 입사광과 타겟에서 산란된 산란광의 위상차를 연산하는 단계와, 연산된 위상차로부터 광경로 길이를 연산한다.
- [0023] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 위상차를 연산하는 단계는, 입사광과 산란광에 상응하는 신호를 FFT(fast fourier transform)하여 수행한다.
- [0024] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광경로 길이를 연산하는 단계는, 수학적
$$L = \frac{c\Delta\phi_{sample}}{2n\pi f_{RF}}$$
 을 연산하여 수행한다.
- [0025] (L: 광경로 길이, $\Delta\phi_{sample}$: 위상차, f_{RF} : 변조된 광의 주파수, n: 타겟의 굴절율, L: 광경로, c: 광속)

[0026] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 흡광도 변화 연산 단계는, 이미 흡광도를 알고 있는 기준 물체(reference object)와, 타겟의 흡광도의 비율을 연산하여 수행한다.

[0027] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 흡광도 변화 연산 단계는, 수학적
$$\Delta\mu_a = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{I_a}{I_0}\right)$$
 을 연산하여 수행한다.

[0028] ($\Delta\mu_a$: 흡광도 변화, L: 광경로 길이, I_a : 타겟의 산란광의 세기, I_0 : 기준 물체의 산란광 세기)

[0029] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광학적 분석 방법은, 산란광의 검출과 동시에 흡광도 변화 연산이 수행된다.

[0030] 본 실시예의 한 측면에 의하면, 광학적 분석 방법은, 위상차 교정(calibration) 단계를 더 포함하며, 위상차 교정 단계는, 광 제공점에서 광 검출 점까지의 거리로부터 교정 위상차를 구하는 단계와, 연산된 위상차에서 교정 위상차의 차이를 연산하여 수행한다.

발명의 효과

[0031] 본 실시예에 의하면 검출하고자 하는 타겟의 특성을 측정과 동시에 얻을 수 있다는 장점이 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 실시예에 의한 광학적 분석 방법의 개요를 도시한 순서도이다.

도 2는 본 실시예에 의한 광학적 분석 장치(10)의 개요를 도시한 블록도이다.

도 3은 타겟(T)에 제공된 변조광의 광경로를 개요적으로 도시한 도면이다.

도 4는 측정기기의 오차를 제거하는 단계를 설명하기 위한 개요도이다.

도 5는 시뮬레이션을 통해 타겟의 흡광도가 변화함에 따라 얻어지는 측정값의 예시를 나타낸 도면이다.

도 6은 도 5에서 얻은 측정값을 이용해 선형회귀법으로 광경로를 계산한 결과를 예시한 도면이다.

도 7은 본 실시예에 따라 광경로 길이와 산란광 세기 변화를 이용해 흡광도 변화와 실제 흡광도 변화를 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 도 1은 본 실시예에 의한 광학적 분석 방법의 개요를 도시한 순서도이다. 도 1을 참조하면, 본 실시예에 의한 광학적 분석 방법은 타겟(T)에 변조된 광을 입사시키는 변조 광 입사 단계(S100)와, 타겟(T)에서 산란된 산란광을 검출하여 타겟 내 광의 광경로 길이를 연산하는 광 경로 길이 연산 단계(S200)와, 광경로 길이로부터 흡광도 변화를 연산하는 흡광도 변화 연산 단계(S300)를 포함한다.

[0034] 도 2는 본 실시예에 의한 광학적 분석 장치(10)의 개요를 도시한 블록도이다. 도 2를 참조하면, 본 실시예에 의한 광학적 분석 장치(10)는: 미리 정해진 주파수로 변조된 변조광을 제공하는 광원부(100); 타겟(T)에 제공되어 형성된 산란광을 검출하여 전기적 신호로 출력하는 검출부(200); 및 전기적 신호로부터 타겟을 광학적으로 분석하는 제어 연산부(300)를 포함하며, 제어 연산부(300)는, 전기적 신호로부터 타겟(T) 내 광의 광경로 길이를 연산하는 광경로 길이 연산 단계와, 광경로 길이로부터 흡광도 변화를 연산하는 흡광도 변화 연산 단계를 수행하여 타겟(T)의 흡광도 변화를 연산하는 광학적 분석 방법을 수행한다.

[0035] 계속하여 도 1 및 도 2를 참조하면, 광원부(100)는 레이저 다이오드(140)에 구동 전력을 제공하는 LD 구동부(110)와 레이저 다이오드(140)가 제공하는 광을 변조하는 RF 신호 생성기(120)를 포함할 수 있다.

[0036] LD 구동부(110)는 레이저 다이오드(140)를 구동하도록 변조부(130)에 직류 전류를 제공할 수 있다. RF 신호 생성기(120)는 레이저 다이오드(140)가 출력하는 광이 RF 신호로 변조되도록 RF 신호를 변조부(130)에 출력한다. RF 신호 생성기(120)는 일 예로, 수 MHz ~ 수 GHz의 주파수를 가지는 RF 신호를 출력할 수 있다. 또한, 후술할 바와 같이 레이저 다이오드(140)가 복수의 레이저 다이오드들을 포함하는 경우에, 각 레이저 다이오드들이 서로 다른 파장의 RF 신호들로 변조되도록 서로 다른 파장의 RF 신호들을 변조부(130)에 출력할 수 있다.

[0037] 변조부(130)는 LD 구동부(110)와 RF 신호 생성기(120)로부터 각각 직류 전류와 RF 신호를 제공받고, 레이저 다이오드(140)가 RF 신호에 의하여 변조된 광을 출력하도록 신호를 제공한다. 일 실시예로, 변조부(130)는 일 단

에 LD 구동부(110)와 연결되어 LD 구동부(110)가 제공한 직류 신호를 제공받고, 타 단에 RF 신호 생성기(120)가 연결되어 RF 신호 생성기(120)가 출력한 RF 신호를 제공받아 레이저 다이오드(140)에 제공하는 바이어스 티(Bias Tee)를 포함할 수 있다.

[0038] 광원부(100)는 광을 출력하는 레이저 다이오드(140)를 포함할 수 있다. 일 실시예로, 레이저 다이오드(140)는 서로 다른 파장의 광을 출력하는 복수의 레이저 다이오드들을 포함할 수 있다. 레이저 다이오드(140)가 출력하는 광은 파장이 600nm 내지 2500nm 의 근적외선 대역(near infrared band) 중 미리 정해진 대역일 수 있다. 다만, 이는 일 예일 따름이며 레이저 다이오드(140)가 제공하는 광의 파장 대역을 제한하는 것이 아니다.

[0039] 상술한 바와 같이 레이저 다이오드(140)는 RF 신호 생성기(120)가 제공한 RF 신호로 변조된 근적외선 대역의 광을 출력한다. 또한, 레이저 다이오드(140)가 복수의 레이저 다이오드들을 포함하는 경우, 각각의 레이저 다이오드는 서로 다른 주파수의 RF 신호로 변조되고, 서로 다른 파장 대역의 근적외선 대역의 광을 출력할 수 있다. 다른 예로, 각각의 레이저 다이오드는 서로 다른 주파수의 RF 신호로 변조되고, 동일한 대역의 근적외선 대역의 광을 출력할 수 있다.

[0040] 레이저 다이오드(140)가 출력한 변조광은 타겟(T)에 제공된다. 일 실시예로, 타겟(T)은 생체 조직(bio tissue), 음식물(food) 및 비생체 물질 등 제한되지 않는다.

[0041] 일 실시예로, 타겟(T)에 제공되는 변조광은 시간 차이를 두고 복수회 제공될 수 있다. 타겟(T)이 생체 조직인 경우에 호흡, 혈류, 발한 등의 생체 활동에 의하여 타겟(T)의 구체적인 성분 변화가 있을 수 있다. 일 예로, 타겟(T)이 혈관 등을 포함하는 경우에, 타겟(T)에 변조광이 제공되는 순간 마다 혈류량이 변화할 수 있다. 이러한 변화를 감안할 수 있도록 타겟(T)에 변조광을 복수회 제공할 수 있다.

[0042] 도 3은 타겟(T)에 제공된 변조광의 광경로를 개요적으로 도시한 도면이다. 도 3을 참조하면, 타겟(T)에 입사한 변조광은 타겟(T) 내부 산란에 의해 점선으로 도시된 것과 같이 굽은 형태의 광경로를 따른다. 타겟(T) 내부에서 산란된 광은 광검출기(210)로 출력된다.

[0043] 다시 도 2를 참조하면, 광 검출기(210)는 산란광을 검출하고, 산란광에 상응하는 전기적 신호를 형성하여 출력한다. 일 실시예로, 광 검출기(210)는 애벌런치 포토 다이오드(Avalanche photodiode, APD)일 수 있으며, 검출된 산란광에 상응하는 전기 신호를 신호 처리부(220)에 출력한다.

[0044] 신호 처리부(220)는 제공된 전기 신호를 증폭하는 증폭기(222)와 증폭된 신호에서 목적하는 대역만을 필터하는 대역 통과 필터(BPF, band pass filter, 224)를 포함할 수 있다. 일 실시예로, 증폭기(222)는 애벌런치 포토 다이오드가 출력한 전류 신호를 제공받고 이를 전압 신호로 변환하여 증폭하는 트랜스 임피던스 증폭기(trans-impedance amplifier)를 포함할 수 있다. 또한, 증폭기(222)는 제공된 신호를 후술할 아날로그 디지털 변환기(ADC, analog to digital converter)의 입력 다이내믹 레인지(dynamic range)에 맞추어 이에 부합하는 이득(gain)으로 증폭하는 증폭기를 포함할 수 있다.

[0045] 대역 통과 필터(224)는 노이즈등 목적하지 않은 대역의 신호를 차단하고, 증폭기(222)가 출력한 신호에서 목적하는 대역을 통과시켜 제어 연산부(300)에 출력한다.

[0046] 제어 연산부(300)는 아날로그 디지털 변환기(ADC, 302)와 연산부(304)를 포함한다. 아날로그 디지털 변환기(302)는 신호 처리부(220)가 제공한 신호를 제공받고 상응하는 디지털 코드를 형성하여 연산부(304)에 제공한다. 또한, 아날로그 디지털 변환기(302)는 RF 신호 생성기(120)가 제공한 RF 신호를 제공받고 상응하는 디지털 코드를 형성하여 연산부(304)에 출력한다. 연산부(304)는 RF 신호에 상응하는 디지털 코드와 신호 처리부가 출력한 신호에 상응하는 디지털 코드들을 제공받고, FFT(Fast Fourier Transform)를 수행하여 타겟(T)에 제공된 변조광과 타겟(T)에서 검출한 산란광 사이의 위상차를 검출할 수 있으며, 광의 세기 변화를 검출할 수 있다.

[0047] 이하에서는 제어 연산부(300)가 타겟의 특성 변화를 검출하는 과정을 설명한다. 입사한 변조광은 타겟(T) 내부 산란에 의해 굽은 형태의 광경로를 따른다. 타겟(T)에 제공된 광은 RF 신호의 주파수로 변조되어 있으므로 L 의 길이를 갖는 광경로를 거쳐 광 검출기(210)에 도달하는 빛은 타겟(T)에 입사한 변조광과의 관계에서 위상차($\Delta \Phi_{\text{sample}}$)가 형성되며, 위상차는 수학식 1로 표시될 수 있다.

[0048] [수학식 1]

$$\Delta\phi_{sample} = 2\pi f_{RF} \frac{nL}{c}$$

(n은 타겟의 굴절율, f_{RF} : 변조광이 변조된 주파수, L: 광경로의 길이)

단일한 변조 주파수로 광을 변조하는 경우에 비하여 복수의 주파수로 변조된 광을 타겟(T)에 제공하여 전자기와 간섭이나 그라운드 루프 등의 노이즈에 대한 특성을 향상시킬 수 있다. 이러한 경우, 여러 변조 주파수에 대해 위상차를 측정하고 선형회귀법을 통해 분석하여 보다 안정적이고 정확하게 광경로 L을 계산한다.

위상차를 측정하는 과정에서 측정 기기에 의한 오차가 개입될 수 있다. 도 4는 측정기기의 오차를 제거하는 단계를 설명하기 위한 개요도이다. 도 4를 참조하면, 변조광이 제공되는 광 파이버와 산란광을 수집하는 광 파이버가 동일한 면에 위치하여 s 만큼 이격되어 있으며, 평면과 d 만큼 이격되어 산란면이 있다고 하자. 광경로의

길이 l은 광섬유 사이의 이격 거리 s와 반사면까지의 거리 d로부터 $l = 2\sqrt{d^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2}$ 으로 연산된다. 광경로 길이 l은 진공에서의 광속 c와 변조 주파수 f_{RF} 에 의해 수학식 2로 표시된 것과 같은 위상차($\Delta\phi_R$)를 형성한다.

[수학식 2]

$$\begin{aligned} \Delta\phi_R &= 2\pi f_{RF} \left(\frac{l}{c} \right) \\ &= 2\pi f_{RF} \left(\frac{2\sqrt{d^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2}}{c} \right) \end{aligned}$$

따라서, 도 4로 예시된 환경에서 측정된 위상차를 $\Delta\phi_{calib}$, 위에서 연산된 위상차를 $\Delta\phi_R$ 라고 하면, 아래의 수학식 3과 같이 $\Delta\phi_{calib}$, 위에서 연산된 위상차를 $\Delta\phi_R$ 의 차이를 연산하여 측정 기기의 위상차 오차($\Delta\phi_{inst}$)를 얻을 수 있다.

[수학식 3]

$$\Delta\phi_{inst} = \Delta\phi_{calib} - \Delta\phi_R$$

아래의 수학식 4와 같이 타겟(T)에서 측정된 위상차($\Delta\phi_{sample}$)와 측정 기기의 위상차 오차($\Delta\phi_{inst}$)의 차이를 연산함으로써 측정 장치에 의한 위상차의 오차가 보정된 위상차($\Delta\phi$)를 얻을 수 있다.

[수학식 4]

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{sample} - \Delta\phi_{inst}$$

오차가 보정된 위상차($\Delta\phi$)로부터 타겟(T) 내에서의 광경로(L)의 길이는 아래의 수학식 5를 연산하여 얻을 수 있다.

[수학식 5]

$$L = \frac{c\Delta\phi}{2n\pi f_{RF}}$$

(L: 광경로 길이, $\Delta\phi$: 위상차, f_{RF} : 변조된 광의 주파수, n: 타겟의 굴절율, L: 광경로, c: 광속)

일 실시예로, 타겟(T)이 인체 조직인 경우에, 인체 조직의 굴절율 n은 대략 1.4 이므로, 이 관계식에 따라 측정된 위상차로부터 타겟(T) 내부의 광경로의 길이는 아래의 수학식 6과 같이 표시된다.

[수학식 6]

$$L = \frac{c\Delta\phi_{sample}}{2.8\pi f_{RF}}$$

[0068] 광 검출기(210)가 측정한 빛의 세기 I 는 흡광도 μ_a 와 광경로 L 의 지수적인 관계에 의해 아래의 수학식 7의 관계가 성립한다.

[0069] [수학식 7]

$$I \propto e^{-\mu_a L}$$

[0070] (μ_a : 흡광도, L : 광경로의 길이)

[0072] 수학식 7로부터 아래의 실시예들과 같이 타겟(T)의 흡광도 차이를 연산할 수 있다

[0073] 일 실시예로, 상술한 바와 같이, 변조광은 시간 차이를 두고 복수회 제공될 수 있다. 따라서, 제1 변조광이 타겟에 제공됨에 따라 광검출기가 측정한 빛의 세기를 I_0 , 제2 변조광이 타겟에 제공됨에 따라 광검출기가 측정한 빛의 세기를 I_a 라고 하고, 이들에 대한 비율을 연산하면 흡광도의 변화는 아래의 수학식 8과 같이 연산된다.

[0074] [수학식 8]

$$\Delta\mu_a = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{I_a}{I_0}\right)$$

[0075] 위의 수학식 8로부터 타겟(T)의 흡광도 변화를 얻을 수 있으며, 연산된 흡광도 변화($\Delta\mu_a$)와 흡광도를 알고 있는 흡광도값을 이용하여 타겟(T)의 흡광도를 얻을 수 있다.

[0077] 다른 실시예로, 변조광을 식품에 제공하여 식품의 변화를 검출할 수 있다. 변조광이 타겟인 부패하지 않은 식품에 제공됨에 따라 광검출기가 측정한 빛의 세기를 I_0 , 타겟인 검출 대상인 식품에 제공됨에 따라 광검출기가 측정한 빛의 세기를 I_a 라고 하고, 이들에 대한 비율을 연산하면 마찬가지로 흡광도의 변화는 상기한 수학식 7로부터 연산될 수 있다. 따라서, 이미 알고 있는 부패하지 않은 식품의 흡광도로부터 검출 대상인 식품의 흡광도를 얻어 부패, 산패 등의 변화 여부를 검출할 수 있다.

[0078] 일 실시예로, 흡광도 변화에 의해 광경로 L 도 약간 변하므로 변화 전의 광경로를 L_0 , 변화 후를 L_a 라 하면 분석에 사용하는 광경로 값은 $L \approx \frac{L_0 + L_a}{2}$ 의 평균값을 사용할 수 있다. 광경로 연산과 마찬가지로 단일한 변조주파수에 대한 세기 측정값만 이용하는 것보다 여러 변조주파수 측정으로부터 세기 측정값 변화의 평균값을 이용하는 것이 보다 안정적이고 정확한 분석이 가능하다.

[0079] 본 실시예에서, 광경로를 얻는 선형회귀법 계산과 측정 세기의 로그 계산 모두 반복적이지 않은 정방향 문제(Forward problem) 계산이므로 기존의 반복적이고 복잡한 NLLS 계산보다 빠르게 흡광도 분석을 수행할 수 있다. 구체적으로, 종래 기술에 의하면, 한 번의 측정을 분석하는 데에 수 초, 길게는 수십 초가 필요한 반면, 본 실시예에 의하면 0.05 초 미만의 시간을 필요로 하여 측정과 동시에 분석이 가능하다는 장점이 제공된다.

[0081] 실험 결과

[0082] 이하에서는 도 5 내지 도 7을 참조하여 본 실시예의 실험 결과를 설명한다. 도 5는 시뮬레이션을 통해 타겟의 흡광도가 변화함에 따라 얻어지는 측정값의 예시를 나타낸 도면이다. 도 5를 참조하면, 타겟의 흡광도가 0.10, 0.12, ... 0.2 cm^{-1} 로 변화할 때 흡광도가 커질수록 측정된 산란광의 세기가 약해지며, 위상차가 적어지는 것을 확인할 수 있다.

[0083] 도 6은 도 4에서 얻은 측정값을 이용해 선형회귀법으로 광경로를 계산한 결과를 예시한 도면이고, 도 7은 본 실시예에 따라 광경로 길이와 산란광 세기 변화를 이용해 흡광도 변화와 실제 흡광도 변화를 비교한 도면이다. 흡광도는 0.14 cm^{-1} 를 기준으로 변화량을 분석하였다. 실제 변화 정도와 일치하는 결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

[0084] 상기 서술은 본 발명의 대표적인 분석 방법에 대한 사항이며, 광원의 파장 선택이나 측정 대상 표면에서 광원 및 디텍터의 배치 등 자세히 서술되지 않은 사항들은 본 발명을 적용하는 데에 제한이 되는 사항이 아니므로 필요에 따라 변형 및 수정할 수 있다.

[0085] 상기 과정을 통해 측정과 동시에 분석이 가능한 실시간 분석 방법 및 분석 장치를 구현할 수 있으며, 산란 매질의 흡광도 변화 분석이 필요한 상황에서 범용적으로 사용될 수 있다. 예를 들어, 대표적으로 인체 근육이나 뇌 활동에 대해 연구적, 의료적 목적으로 기능성 측정, 육류나 과일 등의 식품 품질 분석 및 연고나 화장품 등을 피부에 도포한 뒤 나타나는 변화를 실시간으로 분석할 수 있다

[0087] 본 발명에 대한 이해를 돕기 위하여 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나, 이는 실시를 위한 실시예로, 예시적인 것에 불과하며, 당해 분야에서 통상적 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 첨부된 특허청구범위에 의해 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0088] S100~S300: 본 실시예에 의한 광학적 분석 방법의 예시적 각 단계

10: 광학적 분석 장치 100: 광원부

110: LD 제어부 120: RF 신호 생성기

130: 변조부 140: 레이저 다이오드

200: 검출부 210: 광 검출기

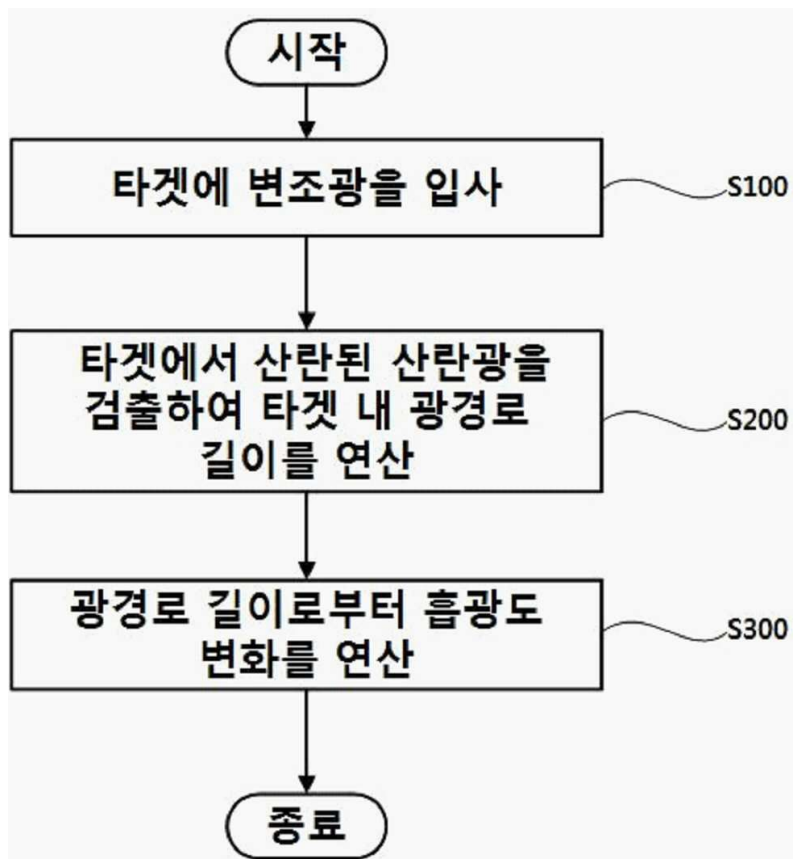
220: 신호 처리부 222: 증폭기

224: 대역 통과 필터 300: 제어 연산부

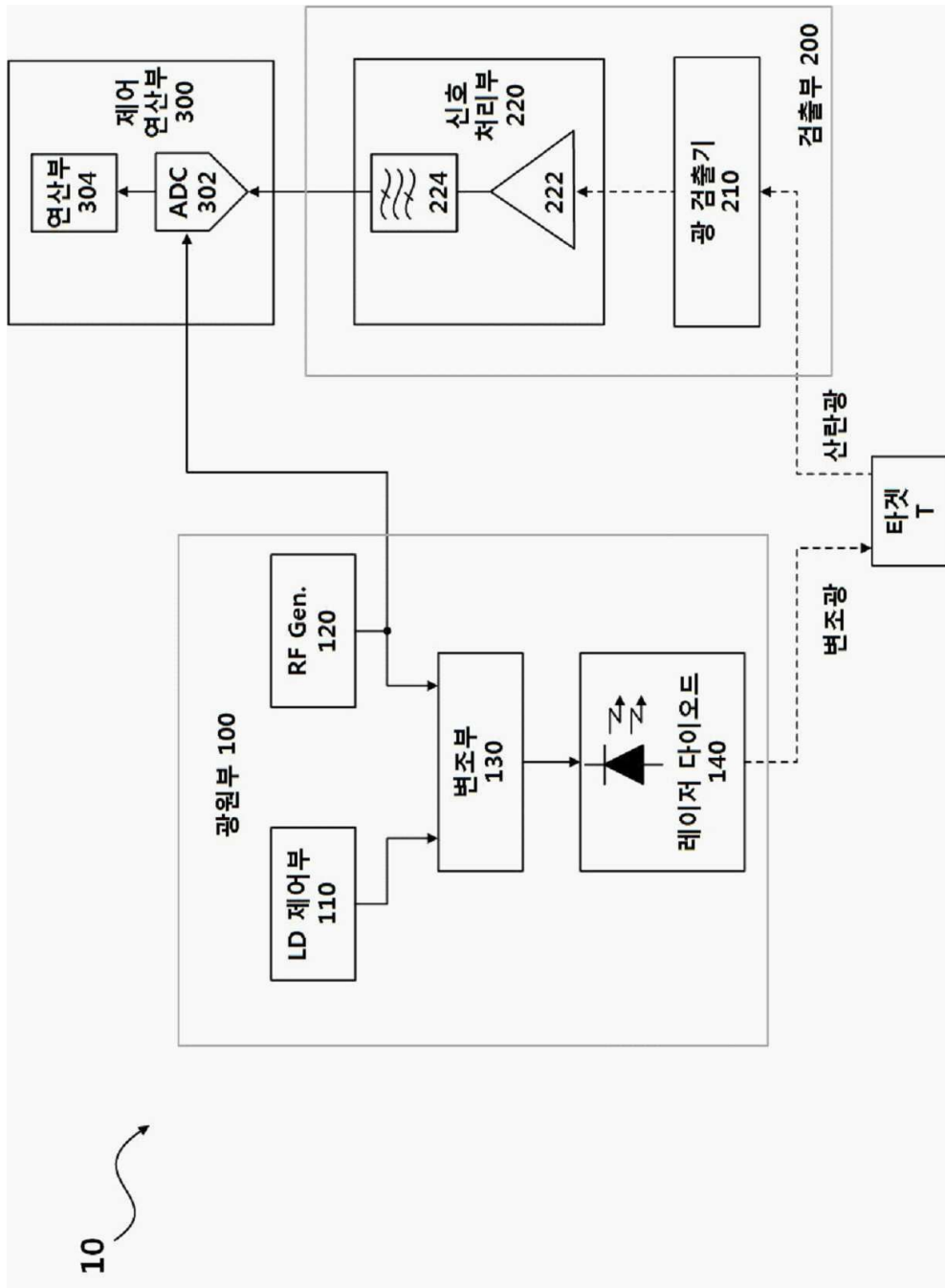
302: ADC 304: 연산부

도면

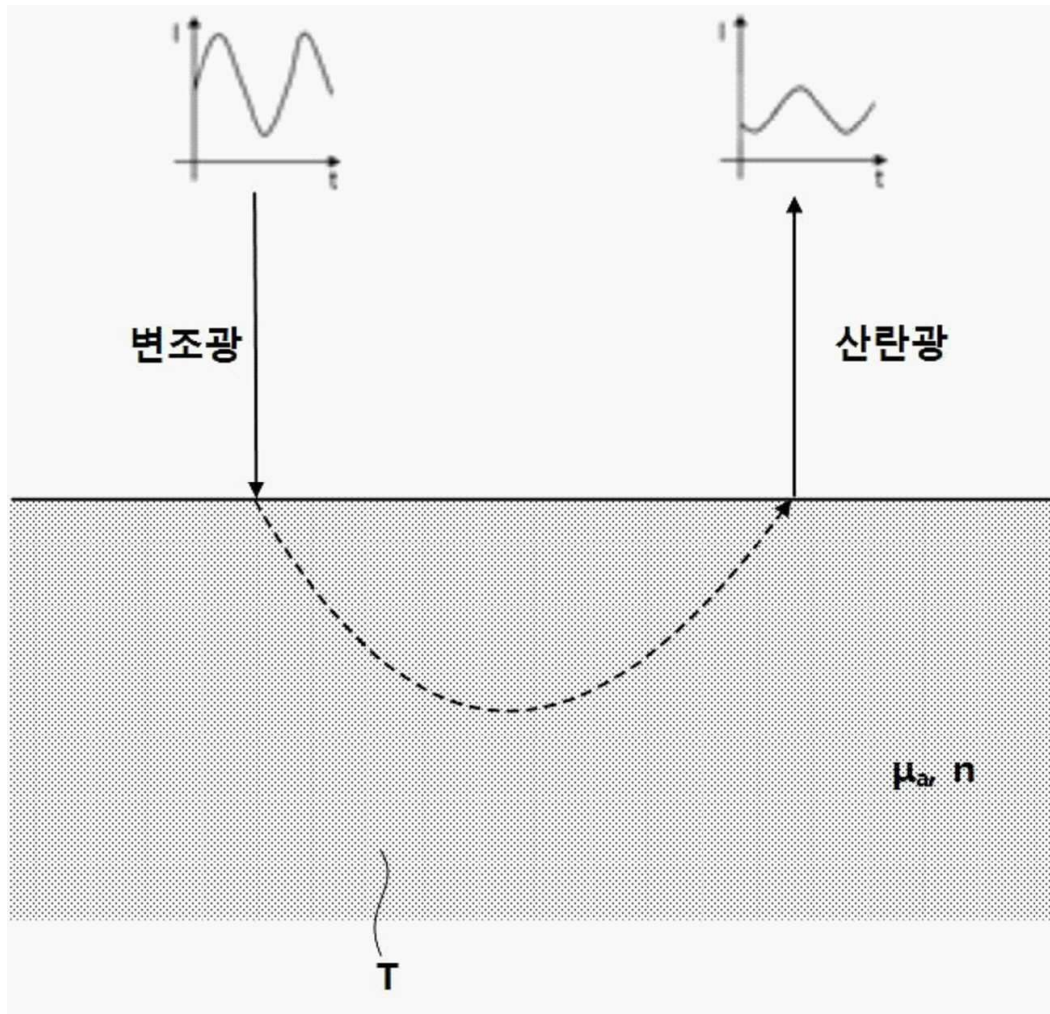
도면1



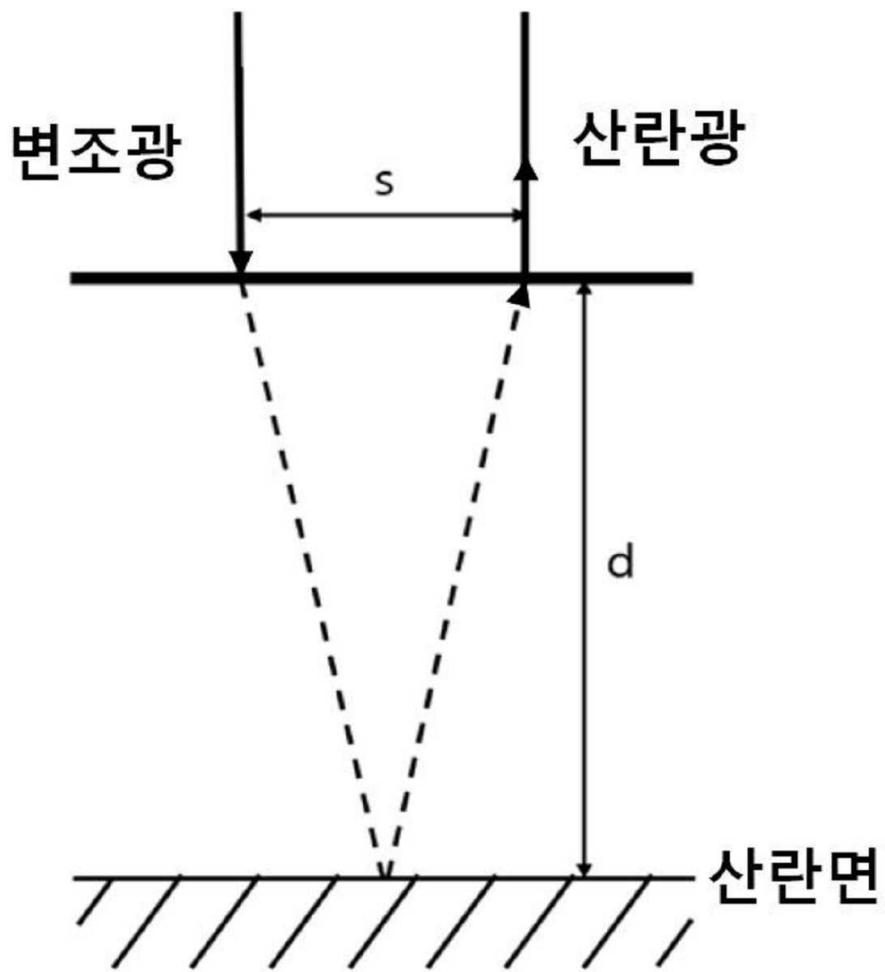
도면2



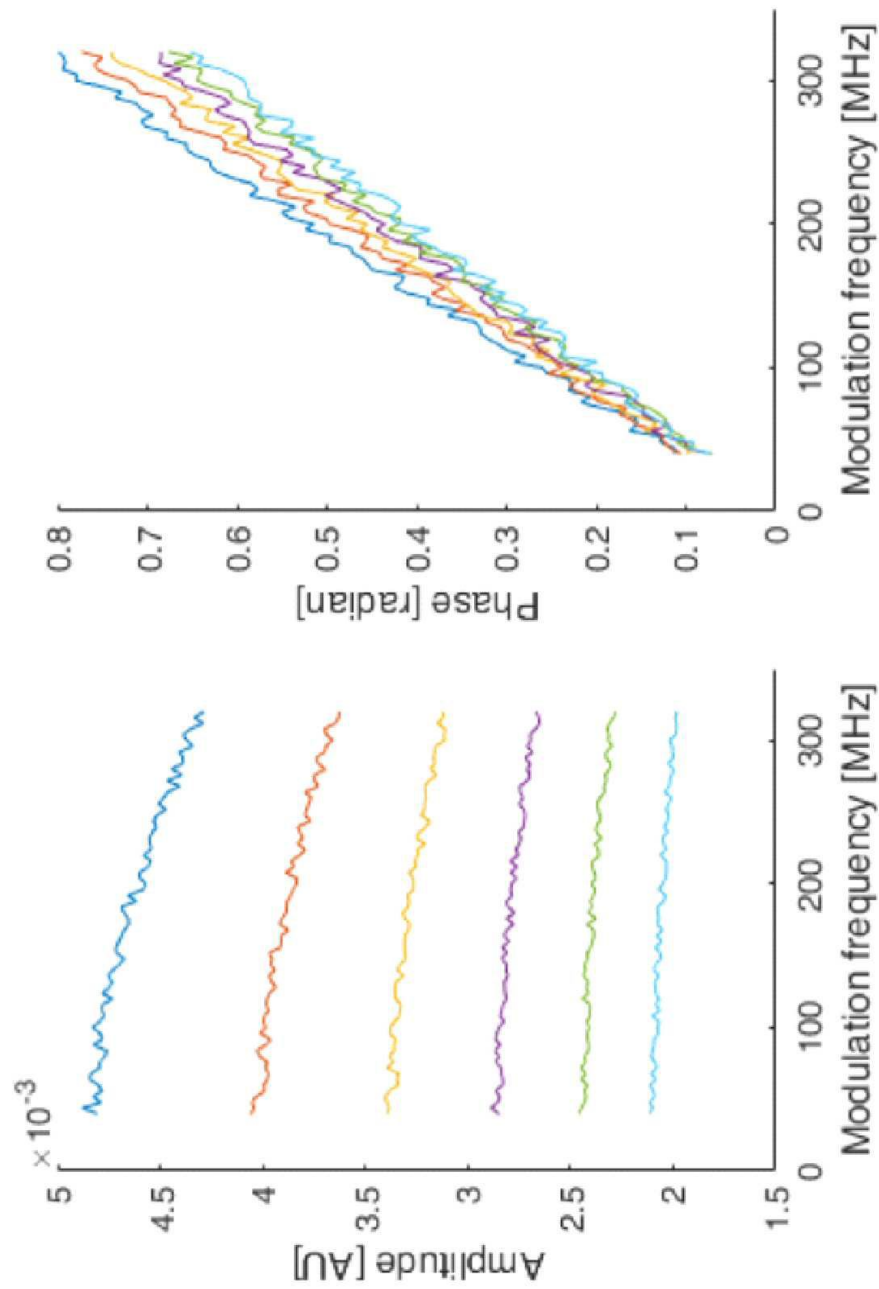
도면3



도면4



도면5



도면6

μ_a (cm ⁻¹)	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
시료 내 광경로(cm)	9.04	8.58	8.12	7.83	7.52	7.25

도면7

