



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0084346

(43) 공개일자 2013년07월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G03H 1/16 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0005042

(22) 출원일자 2012년01월17일

심사청구일자 2012년01월17일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)

(72) 발명자

김태근

서울특별시 양천구 신정동 신시가시아파트 1003동 204호

(74) 대리인

특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 17 항

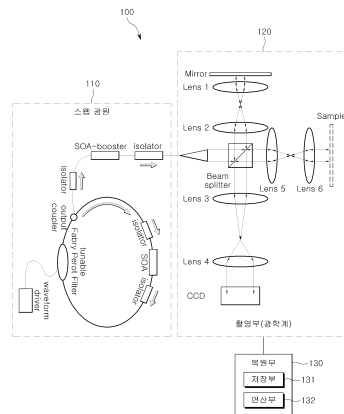
(54) 발명의 명칭 홀로그래프 촬영 장치 및 이를 이용한 홀로그래프 촬영 방법

(57) 요약

본 발명은 홀로그래프 촬영 장치 및 이를 이용한 홀로그래프 촬영 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 서로 다른 파장의 광원을 순차적으로 발생시키는 광원부와, 상기 광원을 사용하여 대상물체에 대한 홀로그래프를 상기 파장 별로 촬영하는 촬영부, 및 상기 파장 별로 촬영된 홀로그래프를 이용하여 상기 대상물체의 3차원 어레이를 형성한 후 상기 대상물체의 3차원 단면영상을 복원하는 복원부를 포함하는 홀로그래프 촬영 장치를 제공한다.

상기 홀로그래프 촬영 장치 및 이를 이용한 홀로그래프 촬영 방법에 따르면, 파장의 중첩에 따라 상쇄되는 고주파 성분의 프린지를 적응적으로 강화시킴으로써 수평 분해능을 증가시킬 수 있으며 복원된 단면영상의 품질을 향상시킬 수 있는 이점이 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10039169

부처명 지식경제부

연구사업명 에너지기술개발사업

발 연구과제명 3차원 공간 정보 획득 및 재현을 위한 디지털 홀로그래픽 3D 영상 시스템용 원천 기술 개

주관기관 한국전자통신연구원

연구기간 2011.05.01 ~ 2012.02.29

특허청구의 범위

청구항 1

서로 다른 파장의 광원을 순차적으로 발생시키는 광원부;

상기 광원을 사용하여 대상물체에 대한 홀로그래프를 상기 파장 별로 촬영하는 촬영부; 및

상기 파장 별로 촬영된 홀로그래프를 이용하여 상기 대상물체의 3차원 어레이를 형성한 후 상기 대상물체의 3차원 단면영상을 복원하는 복원부를 포함하는 홀로그래프 촬영 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 복원부는,

상기 3차원 어레이를 아래의 수학식으로 형성하는 홀로그래프 촬영 장치:

$$h(x, y; k) = \int R_o(x, y; z) \otimes \exp \left\{ j \left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z} + kz \right] \right\} dz$$

여기서, $h(x, y; k)$ 는 x, y, k 축에 따른 상기 3차원 어레이, $R_o(x, y; z)$ 는 x, y, z 축에 따른 대상물체의 단면영상,

$\otimes$ 는 콘볼루션 연산자, $k(=2\pi/\lambda)$ 는 파동수(wave number), λ 는 파장이다.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 복원부는,

상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과를 이용하여 상기 단면영상을 복원한 다음, 상기 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 판독하며,

상기 복원된 단면영상, 그리고 상기 판독된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의되는 플라즈마 촬영 장치:

$$R_{Re}(x, y; z) \approx H(x, y; z) \otimes F(x, y; z)$$

$$\tilde{R}_{Re}(p, q; z) \approx \tilde{H}(p, q; z) \tilde{F}(p, q; z)$$

여기서, 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x, y; z)$ 식에서, $H(x, y; z)$ 는 상기 $h(x, y; k)$ 를 k 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과, $F(x, y; z)$ 는 먹(霧) 프린지 적응 필터(power fringe adjusted filter)를 구성하는 필드함수이고,

상기 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$, $\tilde{H}(p, q; z)$, $\tilde{F}(p, q; z)$ 는 각각 $R_{Re}(x, y; z)$, $H(x, y; z)$, $F(x, y; z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과이고, (p, q) 는 공간 주파수이다.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 2차원 푸리에 변환된 필드함수는,

아래의 수학적식으로 정의되는 플라즈마 촬영 장치:

$$\tilde{F}(p, q; z) = \frac{\tilde{S}^*(p, q; z)}{|\tilde{S}(p, q; z)|^2 + \sigma}$$

여기서, $\tilde{S}(p, q; z)$ 는 $S(x, y; z)$ 를 2차원 푸리에 변환한 결과로서 주파수 영역의 프레넬 존 패턴이고, 상기 $S(x, y; z)$ 는 상기 파장이 중첩된 프레넬 존 패턴이고, *는 켈레 복소수 연산자이고, σ 는 임의의 양의 실수이다.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 $S(x, y; z)$ 는 아래의 수학적식으로 정의되는 플라즈마 촬영 장치:

$$S(x, y; z) = \int \exp \left\{ j \left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z} \right] \right\} dk$$

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 $\tilde{S}(p, q; z)$ 는 미리 저장된 점 반사체에 대한 홀로그램 레코딩 결과로부터 결정되는 플라즈마 촬영 장치.

청구항 7

청구항 2에 있어서,

상기 복원부는,

상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과를 이용하여 상기 단면영상을 복원한 다음, 상기 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 판독하며,

상기 복원된 단면영상, 그리고 상기 판독된 단면영상은 아래의 수학적식으로 정의되는 플라즈마 촬영 장치:

$$R_{Re}(x, y; z) \approx H(x, y; z) \otimes S(x, y; z)$$

$$\tilde{R}_{Re}(p, q; z) \approx \tilde{H}(p, q; z) \tilde{S}^*(p, q; z)$$

여기서, 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x, y; z)$ 식에서, $H(x, y; z)$ 는 상기 $h(x, y; k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과, $S(x, y; z)$ 는 프레넬 존 패턴으로 구성된 펄드함수이고,

상기 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$, $\tilde{H}(p, q; z)$, $\tilde{S}^*(p, q; z)$ 는 각각 $R_{Re}(x, y; z)$, $H(x, y; z)$, $S(x, y; z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과, *는 켈레 복소수 연산이다.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 복원부는,

고주파 성분을 증가시키는 필터를 사용하여 상기 판독된 단면영상을 필터링하며, 상기 필터링된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의되는 플라즈마 촬영 장치:

$$O_{filter}(p, q, z) = \tilde{R}_{re}(p, q, z) \times iz \times (p^2 + q^2) \\ = \tilde{H}(p, q, z) \times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\}$$

여기서, λ_o 는 상기 광원이 제공하는 파장 범위의 중심 파장, $\Delta\lambda$ 는 파장의 스윕(swept) 폭이고,

$iz \times (p^2 + q^2)$ 는 상기 필터이다.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 복원부는,

상기 필터링된 단면영상을 아래의 수학식으로 재복원하는 플라즈마 촬영 장치:

$$O_{recon}(\overrightarrow{p, q}) = O_{filter}(p, q, z) \\ \times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\}^* \\ = \tilde{H}(p, q, z) (2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)])$$

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 복원부는,

상기 재복원된 단면영상을 역 필터로 필터링하여 상기 대상물체의 단면영상만을 추출하여 복원하고,

상기 역 필터는 아래의 수학식으로 정의되는 플라즈마 촬영 장치:

$$O_{filter}^{inverse}(p, q) = \frac{O_{recon}(\overrightarrow{p, q})}{(2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)]) + \sigma}$$

여기서, σ 는 임의의 양의 실수이다.

청구항 11

플라즈마 촬영 장치를 이용한 플라즈마 촬영 방법에 있어서,

서로 다른 파장의 광원을 순차적으로 발생시키는 단계;

상기 광원을 사용하여 대상물체에 대한 홀로그램을 상기 파장 별로 촬영하는 단계; 및

상기 파장 별로 촬영된 홀로그램을 이용하여 상기 대상물체의 3차원 어레이를 형성한 후 상기 대상물체의 3차원 단면영상을 복원하는 단계를 포함하는 홀로그램 촬영 방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 3차원 단면영상을 복원하는 단계는,

상기 3차원 어레이를 아래의 수학식으로 형성하는 홀로그램 촬영 방법:

$$h(x, y; k) = \int R_o(x, y; z) \otimes \exp \left\{ j \left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z} + kz \right] \right\} dz$$

여기서, $h(x, y; k)$ 는 x, y, k 축에 따른 상기 3차원 어레이, $R_o(x, y; z)$ 는 x, y, z 축에 따른 대상물체의 단면영상,

$\otimes$ 는 콘볼루션 연산자, $k(=2\pi/\lambda)$ 는 파동수(save numver), λ 는 파장이다.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 3차원 단면영상을 복원하는 단계는,

상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과를 이용하여 상기 단면영상을 복원한 다음, 상기 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 판독하며,

상기 복원된 단면영상, 그리고 상기 판독된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의되는 플라즈마 촬영 방법:

$$R_{Re}(x, y; z) \approx H(x, y; z) \otimes F(x, y; z)$$

$$\tilde{R}_{Re}(p, q; z) \approx \tilde{H}(p, q; z) \tilde{F}(p, q; z)$$

여기서, 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x, y; z)$ 식에서, $H(x, y; z)$ 는 상기 $h(x, y; k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과, $F(x, y; z)$ 는 먹(幕) 프린지 적응 필터(power fringe adjusted filter)를 구성하는 필드함수이고,

상기 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$, $\tilde{H}(p, q; z)$, $\tilde{F}(p, q; z)$ 는 각각 $R_{Re}(x, y; z)$, $H(x, y; z)$, $F(x, y; z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과, (p, q) 는 공간 주파수이며,

$$\tilde{F}(p, q; z) = \frac{\tilde{S}^*(p, q; z)}{|\tilde{S}(p, q; z)|^2 + \sigma}$$

상기 2차원 푸리에 변환된 필드함수인 $\tilde{F}(p, q; z)$ 이며,

여기서, $\tilde{S}(p, q; z)$ 는 $S(x, y; z)$ 를 2차원 푸리에 변환한 결과로서 주파수 영역의 프레넬 존 패턴이고, 상기

$$S(x, y; z) = \int \exp \left\{ j \left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z} \right] \right\} dk$$

$S(x, y; z)$ 는 상기 파장이 중첩된 프레넬 존 패턴으로서
고, $*$ 는 켈레 복소수 연산자이고, σ 는 임의의 양의 실수이다.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 $\tilde{S}(p, q; z)$ 는 미리 저장된 점 반사체에 대한 홀로그램 레코딩 결과로부터 결정되는 플라즈마 촬영 방법.

청구항 15

청구항 12에 있어서,

상기 3차원 단면영상을 복원하는 단계는,

상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과를 이용하여 상기 단면영상을 복원한 다음, 상기 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 판독하며,

상기 복원된 단면영상, 그리고 상기 판독된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의되는 플라즈마 촬영 방법:

$$R_{Re}(x, y, z) \approx H(x, y, z) \otimes S(x, y, z)$$

$$\tilde{R}_{Re}(p, q, z) \approx \tilde{H}(p, q, z) \tilde{S}^*(p, q, z)$$

여기서, 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x, y, z)$ 식에서, $H(x, y, z)$ 는 상기 $h(x, y, k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과, $S(x, y, z)$ 는 프레넬 준 패턴으로 구성된 필드함수이고,

상기 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p, q, z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p, q, z)$, $\tilde{H}(p, q, z)$, $\tilde{S}^*(p, q, z)$ 는 각각 $R_{Re}(x, y, z)$, $H(x, y, z)$, $S(x, y, z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과, $*$ 는 곱셈 복소수 연산이다.

청구항 16

청구항 15에 있어서,

상기 3차원 단면영상을 복원하는 단계는,

고주파 성분을 증가시키는 필터를 사용하여 상기 판독된 단면영상을 필터링하며, 상기 필터링된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의되는 플라즈마 촬영 방법:

$$\begin{aligned} O_{filter}(p, q, z) &= \tilde{R}_{Re}(p, q, z) \times iz \times (p^2 + q^2) \\ &= \tilde{H}(p, q, z) \times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\} \end{aligned}$$

여기서, λ_o 는 상기 광원이 제공하는 파장 범위의 중심 파장, $\Delta\lambda$ 는 파장의 스윕(swept) 폭이고,

$iz \times (p^2 + q^2)$ 는 상기 필터이다.

청구항 17

청구항 16에 있어서,

상기 3차원 단면영상을 복원하는 단계는,

상기 필터링된 단면영상을 아래의 수학식으로 재복원하고,

$$\begin{aligned} O_{recon}(\vec{p}, q) &= O_{filter}(p, q, z) \\ &\times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\}^* \\ &= \tilde{H}(p, q, z) (2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)]) \end{aligned}$$

상기 재복원된 단면영상을 역 필터로 필터링하여 상기 대상물체의 단면영상만을 추출하여 복원하고, 상기 역 필터는 아래의 수학식으로 정의되는 플라즈마 촬영 방법:

$$O_{filter}^{inverse}(p, q) = \frac{O_{recon}(\vec{p}, q)}{(2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)]) + \sigma}$$

여기서, σ 는 임의의 양의 실수이다.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 홀로그래프 촬영 장치 및 이를 이용한 홀로그래프 촬영 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 수평 분해능을 개선할 수 있는 홀로그래프 촬영 장치 및 이를 이용한 홀로그래프 촬영 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로 브로드 밴드의 광원을 이용하는 홀로그래프 단층 촬영 기술은 광대역 광원의 짧은 가간섭 길이(coherence length)에 의해 탈 초점 잡음을 제거하여 단층 영상을 획득한다. 이러한 방법은 광대역의 다양한 파장의 광원을 이용함으로써 탈 초점 잡음을 제거함은 물론이며 높은 수직 분해능으로 단층 영상을 추출할 수 있다. 광대역 파장 가변 광원의 예는 특허공개 제2008-0110569호에 개시된 바 있으며, 이는 광간섭 결맞음 단층 촬영 장치의 광원으로 사용되는 것이다.

[0003] 그런데 종래의 광대역 광원을 기반으로 하는 홀로그래프 단층 촬영 장치는 브로드 밴드 광원의 파장들이 서로 중첩되면서 고주파 성분들이 서로 상쇄(smearing out)됨에 따라 영상 복원시 수평 분해능이 저하되는 단점이 있다. 특히, 기존에 미세 물체(microscopic)의 3차원 단층 영상을 추출하고자 하는 경우 수평 분해능 저하에 따른 영상의 질 저하가 3차원 현미경 응용의 걸림돌이 되어왔다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 영상 복원 시 고주파 성분을 강화하여 수평 분해능을 개선할 수 있는 홀로그래프 촬영 장치 및 이를 이용한 홀로그래프 촬영 방법을 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 본 발명은, 서로 다른 파장의 광원을 순차적으로 발생시키는 광원부와, 상기 광원을 사용하여 대상물체에 대한 홀로그래프를 상기 파장 별로 촬영하는 촬영부, 및 상기 파장 별로 촬영된 홀로그래프를 이용하여 상기 대상물체의 3차원 어레이를 형성한 후 상기 대상물체의 3차원 단면영상을 복원하는 복원부를 포함하는 홀로그래프 촬영 장치를 제공한다.

[0006] 여기서, 상기 복원부는, 상기 3차원 어레이를 아래의 수학식으로 형성할 수 있다.

$$h(x, y; k) = \int R_o(x, y; z) \otimes \exp \left\{ j \left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z} + kz \right] \right\} dz$$

[0007]

[0008] 여기서, $h(x, y; k)$ 는 x, y, k 축에 따른 상기 3차원 어레이, $R_o(x, y; z)$ 는 x, y, z 축에 따른 대상물체의 단면영상,

$\otimes$ 는 콘볼루션 연산자, $k(=2\pi/\lambda)$ 는 파동수(save numver), λ 는 파장이다.

[0009] 그리고, 상기 복원부는, 상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과를 이용하여 상기 단면영상을 복원한 다음, 상기 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 판독할 수 있다. 이때, 상기 복원된 단면영상, 그리고 상기 판독된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$R_{Re}(x, y; z) \approx H(x, y; z) \otimes F(x, y; z)$$

[0010]

$$\tilde{R}_{Re}(p, q; z) \approx \tilde{H}(p, q; z) \tilde{F}(p, q; z)$$

[0011]

[0012] 여기서, 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x, y; z)$ 식에서, $H(x, y; z)$ 는 상기 $h(x, y; k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에

변환한 결과, $F(x,y;z)$ 는 먹(霧) 프린지 적응 필터(power fringe adjusted filter)를 구성하는 필드함수이고, 상기 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p,q;z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p,q;z)$, $\tilde{H}(p,q;z)$, $\tilde{F}(p,q;z)$ 는 각각 $R_{Re}(x,y;z)$, $H(x,y;z)$, $F(x,y;z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과, (p,q) 는 공간 주파수이다.

[0013] 또한, 상기 2차원 푸리에 변환된 필드함수는, 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$\tilde{F}(p,q;z) = \frac{\tilde{S}^*(p,q;z)}{|\tilde{S}(p,q;z)|^2 + \sigma}$$

[0014]

[0015] 여기서, $\tilde{S}(p,q;z)$ 는 $S(x,y;z)$ 를 2차원 푸리에 변환한 결과로서 주파수 영역의 프레넬 존 패턴이고, 상기 $S(x,y;z)$ 는 상기 파장이 중첩된 프레넬 존 패턴이고, *는 켈레 복소수 연산자이고, σ 는 임의의 양의 실수이다.

[0016] 그리고, 상기 $S(x,y;z)$ 는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$S(x,y;z) = \int \exp\left\{j\left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z}\right]\right\} dk$$

[0017]

[0018] 이때, 상기 $\tilde{S}(p,q;z)$ 는 미리 저장된 점 반사체에 대한 홀로그램 레코딩 결과로부터 결정될 수 있다.

[0019] 또한, 상기 복원부는, 상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과를 이용하여 상기 단면영상을 복원한 다음, 상기 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 판독할 수 있다. 여기서, 상기 복원된 단면영상, 그리고 상기 판독된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$R_{Re}(x,y,z) \approx H(x,y,z) \otimes S(x,y,z)$$

[0020]

$$\tilde{R}_{Re}(p,q;z) \approx \tilde{H}(p,q;z) \tilde{S}^*(p,q;z)$$

[0021]

[0022] 여기서, 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x,y;z)$ 식에서, $H(x,y;z)$ 는 상기 $h(x,y;k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과, $S(x,y;z)$ 는 프레넬 존 패턴으로 구성된 필드함수이고, 상기 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p,q;z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p,q;z)$, $\tilde{H}(p,q;z)$, $\tilde{S}^*(p,q;z)$ 는 각각 $R_{Re}(x,y;z)$, $H(x,y;z)$, $S(x,y;z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과, *는 켈레 복소수 연산이다.

[0023] 여기서, 상기 복원부는, 고주파 성분을 증가시키는 필터를 사용하여 상기 판독된 단면영상을 필터링하며, 상기 필터링된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$\begin{aligned} O_{filter}(p,q,z) &= \tilde{R}_{Re}(p,q,z) \times iz \times (p^2 + q^2) \\ &= \tilde{H}(p,q,z) \times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\} \end{aligned}$$

[0024]

[0025] 여기서, λ_o 는 상기 광원이 제공하는 파장 범위의 중심 파장, $\Delta\lambda$ 는 파장의 스윕(swept) 폭이고, $iz \times (p^2 + q^2)$ 는 상기 필터이다.

[0026] 또한, 상기 복원부는, 상기 필터링된 단면영상을 아래의 수학식으로 재복원할 수 있다.

$$O_{recon}(\overrightarrow{p, q}) = O_{filter}(p, q, z) \times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\}^* \\ = \tilde{H}(p, q, z) (2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)])$$

[0027]

[0028] 또한, 상기 복원부는, 상기 재복원된 단면영상을 역 필터로 필터링하여 상기 대상물체의 단면영상만을 추출하여 복원하고, 상기 역 필터는 아래의 수학식으로 정의될 수 있다.

$$O_{filter}^{inverse}(p, q) = \frac{O_{recon}(\overrightarrow{p, q})}{(2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)]) + \sigma}$$

[0029]

[0030] 여기서, σ 는 임의의 양의 실수이다.

[0031] 그리고, 본 발명은 플라즈마 촬영 장치를 이용한 플라즈마 촬영 방법에 있어서, 서로 다른 파장의 광원을 순차적으로 발생시키는 단계와, 상기 광원을 사용하여 대상물체에 대한 홀로그래를 상기 파장 별로 촬영하는 단계, 및 상기 파장 별로 촬영된 홀로그래를 이용하여 상기 대상물체의 3차원 어레이를 형성한 후 상기 대상물체의 3차원 단면영상을 복원하는 단계를 포함하는 홀로그래 촬영 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0032] 본 발명에 따른 홀로그래 촬영 장치 및 그 방법에 따르면, 먹 프린지 적응 필터를 필드 함수로 사용함에 따라 파장의 중첩에 따라 상쇄되는 고주파 성분의 프린지를 적응적으로 강화시킴으로써 수평 분해능을 증가시킬 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0033] 도 1은 본 발명의 실시예를 위한 홀로그래 촬영 장치의 구성도이다.

도 2는 도 1을 이용한 홀로그래 촬영 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0034] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0035] 도 1은 본 발명의 실시예를 위한 홀로그래 촬영 장치의 구성도이다. 상기 홀로그래 촬영 장치(100)는 광원부(110), 촬영부(120), 복원부(130)를 포함한다.

[0036] 상기 광원부(110)는 서로 다른 파장의 광원을 순차적으로 발생시킨다. 상기 촬영부(120)는 상기 광원을 사용하여 대상물체에 대한 홀로그래를 상기 파장 별로 촬영한다. 상기 복원부(130)는 상기 파장 별로 촬영된 홀로그래를 이용하여 상기 대상물체의 3차원 어레이를 형성한 후 상기 대상물체의 3차원 단면영상을 복원하며 저장부(131) 및 연산부(132)의 구성을 포함한다.

[0037] 도 2는 도 1을 이용한 홀로그래 촬영 방법의 흐름도이다. 이하에서는 상기 홀로그래 촬영 장치(100)를 이용한 홀로그래 촬영 방법에 관하여 보다 상세히 알아본다.

[0038] 먼저, 상기 광원부(110)는 브로드 밴드(broadband) 광원으로서 서로 다른 파장의 광원을 순차적으로 발생시킨다(S210). 광원부(110)는 스위프 광원(swept source)이 사용될 수 있으나, 본 발명이 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 이러한 스위프 광원의 구체적인 구성 및 원리는 기존에 다양하게 공지되어 있으므로 상세한 설명은 생략한다.

[0039] 본 실시예의 경우, 스위프 광원 SOA(semiconductor optical amplifier)를 gain medium으로 사용하고 tunable fabryperot filter를 이용하여 파장을 시간에 따라 변화시켜 준다. 따라서, 스위프 광원에서 출력되는 광(레이저)은 시간에 따라 파장이 변화한다.

[0040] 다음, 상기 촬영부(120)는 스윙 광원을 사용하여 대상물체(sample)에 대한 홀로그래프를 상기 파장 별로 촬영한다(S220). 이러한 촬영부(120)는 마이켈슨 간섭계를 기반으로 하여 대상물체의 홀로그래프를 촬영하는 광학계 부분에 해당된다. 본 실시예에서 광학계의 렌즈는 4-f 시스템으로 구성한다.

[0041] 레이저에서 나온 빛은 빔 스플리터(beam splitter)에서 두 개의 경로로 나누어진다. 빔 스플리터의 위쪽 경로로 진행되는 빛은 Lens 1과 Lens 2를 통과한 후에 거울(Mirror)에 입사된다. 이때 렌즈의 위치를 조절하여 평면파가 기준 거울(reference mirror)에 입사된다. 입사된 빛은 반사되어 렌즈 3과 렌즈 4를 지나게 된다. 이때 CCD 카메라에 입사되는 빛이 평면파가 되도록 렌즈 3과 렌즈 4의 위치를 조정한다.

[0042] 그리고, 빔 스플리터의 오른쪽으로 진행되는 빛 또한 두 개의 렌즈인 Lens 5, Lens 6을 통과한 후 샘플(sample)에서 반사되게 된다. 샘플(sample)에서 반사된 빛과 앞서 거울(mirror)에서 반사된 빛은 서로 간섭을 일으키게 되고, 이 간섭 패턴을 CCD 카메라를 이용하여 촬영하게 된다. 간섭 패턴은 각각의 스윙 파장에 따른 대상물체의 홀로그래프에 해당된다.

[0043] 이후, 상기 복원부(130)에서는 상기 파장 별로 촬영된 홀로그래프를 이용하여 상기 대상물체의 3차원 어레이를 형성하여 상기 저장부(131)에 저장한 다음, 상기 연산부(132)를 이용하여 저장부(131) 내의 3차원 어레이를 읽어서 상기 대상물체의 3차원 단면영상을 복원한다(S230).

[0044] 상기 복원부(130)에서 3차원 단면영상을 복원하는 방법으로는 두 가지 실시예가 존재한다.

[0045] 먼저, 그 일 실시예는 먹(霧) 프린지 적응 필터(power fringe adjusted filter)를 이용한 복원 알고리즘을 사용하는 것으로서 그 과정은 다음과 같다.

[0046] 우선 복원부(130)에서는 상기 3차원 어레이를 아래의 수학식 1과 같이 형성한다.

수학식 1

$$h(x, y; k) = \int R_o(x, y; z) \otimes \exp \left\{ j \left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z} + kz \right] \right\} dz$$

[0047]

[0048] 여기서, $h(x, y; k)$ 는 x, y, k 축에 따른 상기 3차원 어레이, $R_o(x, y; z)$ 는 x, y, z 축에 따른 대상물체의 단면영상,

$\otimes$ 는 콘볼루션 연산자, $k(=2\pi/\lambda)$ 는 파동수(wave number), λ 는 파장이다. 이러한 수학식 1은 스윙 소스의 각각의 파장에 대응하는 파동수(k)에 따른 3차원 어레이에 해당된다.

[0049] 그리고, 상기 연산부(132)에서 상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과는 수학식 2와 같다.

수학식 2

$$H(x, y; z) = R_o(x, y; z) \otimes S(x, y; z)$$

[0050]

[0051] 즉, 수학식 2의 $H(x, y; z)$ 는 상기 $h(x, y; k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과이다. 여기서, $S(x, y; z)$ 는 파장이 중첩된 프레넬 존 패턴을 나타낸다.

[0052] $S(x, y; z)$ 는 아래의 수학식 3과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 3

$$S(x, y; z) = \int \exp \left\{ j \left[\frac{k(x^2 + y^2)}{2z} \right] \right\} dk$$

[0053]

[0054] 이를 통해, 수학식 2의 $H(x, y; z)$ 는 대상물체의 단면영상인 $R_0(x, y; z)$ 과 파장이 중첩된 프레넬 존 패턴인 $S(x, y; z)$ 이 서로 인코드(encode)된 패턴을 나타냄을 알 수 있다.

[0055] 여기서 만약, $S(x, y; z)$ 의 켈레 복소수를 필드 함수(field function)로 사용하여 단면영상을 복원할 경우, 브로드 밴드 광원의 서로 다른 파장들이 중첩되면서 고주파 성분이 서로 문질러서 상쇄(smearing out)되어, 수평 분해능이 저하되는 문제점이 있다. 즉, 고주파 성분이 감소하고 저주파 성분이 증가하게 되는 단점이 있다.

[0056] 이에 따라, 상기 일 실시예에서는 $S(x, y; z)$ 의 켈레 복소수를 필드 함수로 사용하지 않고, 별도의 먹 프린지 적응 필터를 필드 함수로 사용하여 대상물체의 단면영상을 복원한다.

[0057] 즉, 연산부(132)는 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과인 $H(x, y; z)$ 를 이용하여 상기 단면영상을 복원하되, 상기 인코드된 패턴인 $H(x, y; z)$ 과 필드함수 $F(x, y; z)$ 와의 컨볼루션을 이용하여, 대상물체의 단면영상을 복원한다.

[0058] 대상물체에 대한 복원된 단면영상은 수학식 4로 나타낼 수 있다.

수학식 4

$$R_{Re}(x, y; z) \approx H(x, y; z) \otimes F(x, y; z)$$

[0059]

[0060] 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x, y; z)$ 식에서, $H(x, y; z)$ 는 상기 $h(x, y; k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과이고, $F(x, y; z)$ 는 먹(幕) 프린지 적응 필터(power fringe adjusted filter)를 구성하는 필드함수를 나타낸다.

[0061] 그런 다음, 상기 연산부(132)는 앞서 수학식 4와 같이 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 수학식 5와 같이 판독한다.

수학식 5

$$\tilde{R}_{Re}(p, q; z) \approx \tilde{H}(p, q; z) \tilde{F}(p, q; z)$$

[0062]

[0063] 상기 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$, $\tilde{H}(p, q; z)$, $\tilde{F}(p, q; z)$ 는 각각 $R_{Re}(x, y; z)$, $H(x, y; z)$, $F(x, y; z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과이고, (p, q) 는 공간 주파수이다.

[0064] 여기서, $F(x, y; z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과인 $\tilde{F}(p, q; z)$ 는 수학식 6과 같이 정의된다.

수학식 6

$$\tilde{F}(p, q; z) = \frac{\tilde{S}^*(p, q; z)}{|\tilde{S}(p, q; z)|^2 + \sigma}$$

[0065]

[0066] 여기서, $\tilde{S}(p, q; z)$ 는 파장이 중첩된 프레넬 존 패턴에 해당되는 수학식 3의 $S(x, y; z)$ 를 2차원 푸리에 변환한 결과로서, 주파수 영역의 프레넬 존 패턴을 나타낸다. 그리고, *는 켈레 복소수 연산자이다. σ 는 추후 역 필터링 시에 발생할 수 있는 폴(pole;극점) 발생 문제를 극복하기 위해 첨가되는 임의의 양의 실수이다.

[0067] 본 발명에 따르면, 이러한 먹 프린지 적응 필터를 푸리에 영역의 필드 함수로 사용함에 따라 파장의 중첩에 따라 상쇄되는 고주파 성분의 프린지를 적응적으로 강화하여 수평 분해능을 증가시키고, 그에 따른 복원 영상의 품질 향상에 기여한다.

[0068] 이렇게 푸리에 영역에서 먹 프린지 적응 필터를 이용하여 된 물체의 단면영상을 2차원 역 푸리에 변환하여 공간 영역(space domain)으로 변환하면, 공간영역에서 물체의 단면 영상을 얻을 수 있게 된다.

[0069] 상술한 먹 프린지 적응필터에서 상기 $\tilde{S}(p, q; z)$ 는 미리 저장된 점 반사체에 대한 홀로그램 레코딩 결과로부터 결정될 수도 있다. 즉, 점 반사체를 본 실시예의 대상물체 부분에 위치시켜서 인코딩되는 패턴을 푸리에 영역으로 변환한 다음 회절이론을 적용하여 연산하여 합성하거나, 또는 점 반사체를 본 실시예의 대상물체 부분에 위치시켜 촬영된 인코딩된 패턴을 푸리에 영역으로 변환하여 얻을 수 있다. 실제의 점 반사체를 대상물체 부근에 위치시킨 후 촬영된 영상 즉 실제 광학계의 프레넬 존 패턴은 광학계를 구성하는 렌즈의 수차와 광학계 정

렬의 불완전성 등에 따른 영상의 왜곡정보를 갖고 있다. 이를 먹 프린지 적응 필터의 $\tilde{S}(p, q; z)$ 로 사용하는 경우 먹 프린지 적응 필터가 실제로 제작된 광학계의 수차 및 왜곡을 상쇄하는 방식으로 수차 및 왜곡을 적응적으로 보정함에 따라, 고화질 및 고해상도로 단면영상을 복원할 수 있는 장점이 있다.

[0070] 상기와 같이 먹 프린지 적응 필터를 이용한 일 실시예와 달리, 상기 복원부(130)에서 3차원 단면영상을 복원하는 다른 실시예는 다음과 같다.

[0071] 우선, 연산부(132)에서 수학식 1의 3차원 어레이를 형성하는 과정은 앞서 일 실시예와 동일하다. 다음, 연산부(132)는 상기 3차원 어레이를 1차원 푸리에 변환한 결과를 이용하여 상기 단면영상을 수학식 7과 같이 복원한다.

수학식 7

$$R_{Re}(x, y; z) \approx H(x, y; z) \otimes S(x, y; z)$$

[0072]

[0073] 상기 복원된 단면영상인 $R_{Re}(x, y; z)$ 식에서, $H(x, y; z)$ 는 상기 $h(x, y; k)$ 를 K 축에 대하여 1차원 푸리에 변환한 결과이고, $S(x, y; z)$ 는 프레넬 존 패턴으로 구성된 필드함수로서 앞서 수학식 3을 참조한다.

[0074] 다음, 상기 연산부(132)는 수학식 7과 같이 복원된 단면영상을 2차원 푸리에 변환하여 상기 단면영상을 판독한다. 판독된 결과는 수학식 8과 같다.

수학식 8

[0075]
$$\tilde{R}_{Re}(p, q; z) \approx \tilde{H}(p, q; z) \tilde{S}^*(p, q; z)$$

[0076] 판독된 단면영상인 $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$ 식에서, $\tilde{R}_{Re}(p, q; z)$, $\tilde{H}(p, q; z)$, $\tilde{S}^*(p, q; z)$ 는 각각 $R_{Re}(x, y; z)$, $H(x, y; z)$, $S(x, y; z)$ 의 2차원 푸리에 변환 결과이고, *는 켤레 복소수 연산이다.

[0077] 다음, 연산부(132)는 고주파 성분을 증가시키는 필터를 사용하여, 상기 수학식 8의 판독된 단면영상을 필터링한다. 상기 필터링된 단면영상은 아래의 수학식으로 정의된다.

수학식 9

[0078]
$$\begin{aligned} O_{filter}(p, q, z) &= \tilde{R}_{Re}(p, q; z) \times iz \times (p^2 + q^2) \\ &= \tilde{H}(p, q; z) \times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\} \end{aligned}$$

[0079] 여기서, λ_o 는 상기 광원이 제공하는 파장 범위의 중심 파장, $\Delta\lambda$ 는 파장의 스윕(swept) 폭이고, $iz \times (p^2 + q^2)$ 는 상기 필터에 해당된다.

[0080] 즉, 수학식 9는 필터를 통과한 복원된 영상으로서, 공간 주파수 영역에서 대상물체의 단면영상과 파장 스윕 폭 양 끝단에 대응하는 프레넬 존 패턴의 차와 대향물체의 단면영상이 인코드된 패턴이 된다.

[0081] 이러한 다른 실시예의 경우, 수학식 9와 같은 고주파 성분 증가용 필터를 사용함에 따라, 파장의 증첩에 따라 상쇄되는 고주파 성분을 상승시켜서 수평 분해능을 증가시키고, 그에 따른 복원 영상의 품질 향상에 기여한다.

[0082] 이후, 상기 연산부(132)에서는 파장 폭 양 끝단에 대응하는 프레넬 존 패턴의 차의 켤레 복소수를 필드함수로 사용하여, 수학식 9와 같은 필터링된 단면영상을 수학식 10과 같이 재복원한다.

수학식 10

[0083]
$$\begin{aligned} O_{recon}(\overrightarrow{p, q}) &= O_{filter}(p, q, z) \\ &\times \left\{ \exp[i\pi(\lambda_o + \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] - \exp[i\pi(\lambda_o - \Delta\lambda/2)z(p^2 + q^2)] \right\}^* \\ &= \tilde{H}(p, q; z) (2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)]) \end{aligned}$$

[0084] 이후, 상기 연산부(132)는 상기 재복원된 수학식 10의 단면영상을 수학식 11의 역 필터로 필터링하여, 대상물체의 단면영상만을 추출하여 복원한다.

수학식 11

[0085]
$$O_{filter}^{inverse}(p, q) = \frac{O_{recon}(\overrightarrow{p, q})}{(2 - 2 \cos[\pi\Delta\lambda z(p^2 + q^2)]) + \sigma}$$

[0086] 수학식 11의 σ 는 앞서 수학식 6의 경우와 유사하게, 폴(pole; 극점) 발생 문제를 극복하기 위해 첨가되는 임의

의 양의 실수이다. 즉, σ 는 수학식 11의 분모가 0이 되는 것을 방지하도록 첨가되는 미소값이다.

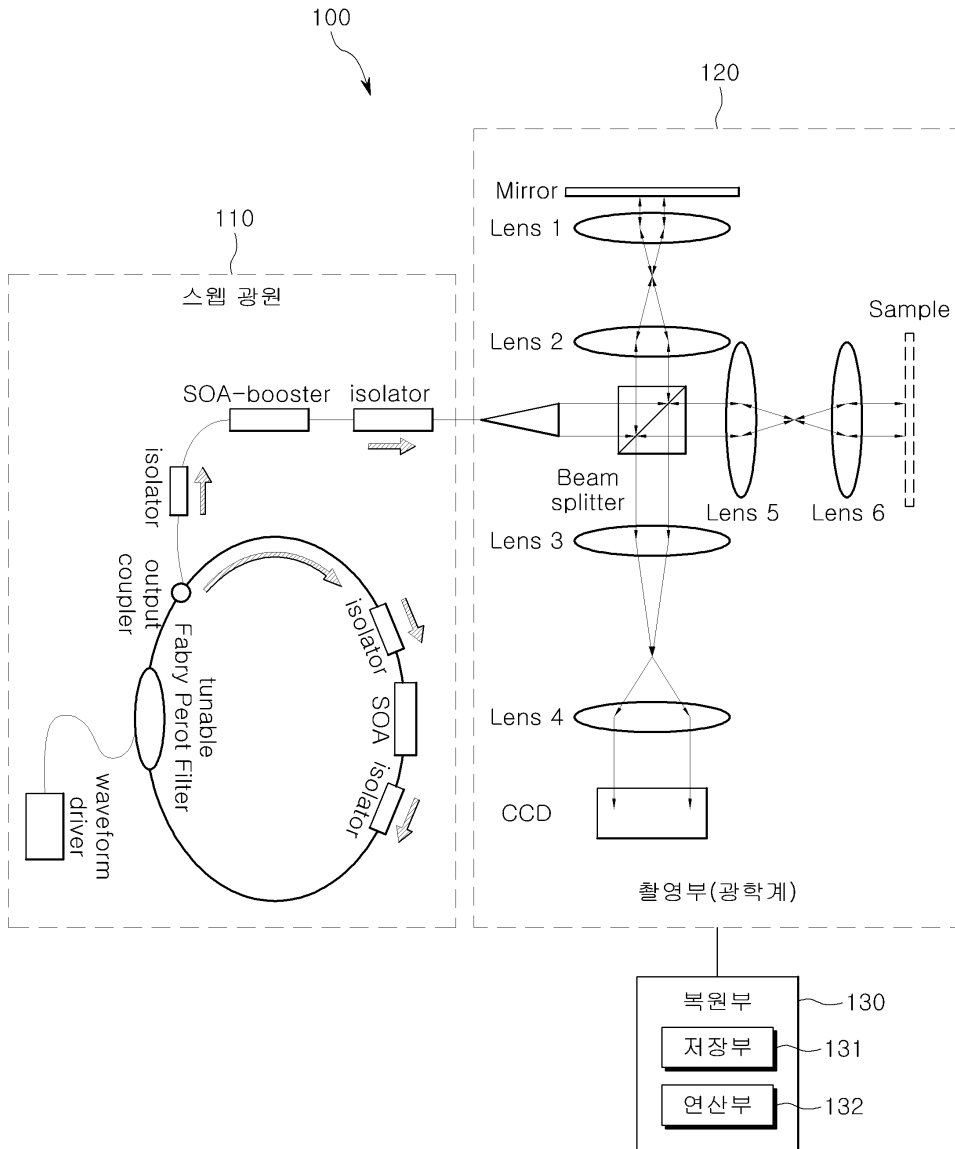
- [0087] 즉, 수학식 11과 같이 푸리에 영역에서 양측 프레넬 존 패턴과 상수의 합의 역으로 구성된 역필터를 통해 수학식 10의 복원 영상을 필터링하여 탈 초점 노이즈를 제거하고 대상물체의 단면영상만을 추출하여 복원한다.
- [0088] 이렇게 푸리에 영역에서 얻어진 대상물체의 단면영상을 2차원 역 푸리에 변환하여 공간 영역(space domain)으로 변환하면, 공간영역에서 물체의 단면 영상을 얻을 수 있게 된다.
- [0089] 이상과 같은 다양한 실시예를 포함하는 본 발명의 홀로그래프 촬영 장치 및 그 방법에 의하면, 홀로그래프 촬영 장치에서 파장 중첩에 따른 수평 분해능 저하를 개선하여, 대상물체의 스펙트럼에서 고주파 성분을 강화할 수 있으며, 이에 따라 복원된 단면영상의 품질을 향상시킬 수 있는 이점이 있다.
- [0090] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

- [0091] 100: 홀로그래프 촬영 장치 110: 광원
- 120: 촬영부 130: 복원부
- 131: 저장부 132: 연산부

도면

도면1



도면2

