

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.⁶
G02B 27/00

(11) 공개번호 특 1999-0088198

(43) 공개일자 1999년 12월 27일

(21) 출원번호	10-1999-0016871
(22) 출원일자	1999년 05월 12일
(30) 우선권 주장	1998-130220 1998년 05월 13일 일본(JP)
(71) 출원인	소니 가부시끼 가이샤 이데이 노부유키
(72) 발명자	일본국 도쿄도 시나가와구 기타시나가와 6초메 7반 35고 스가누마히로시
(74) 대리인	일본도쿄도시나가와구기타시나가와6쵸메7-35소니가부시끼가이샤내 장수길, 구영창

심사청구 : 없음

(54) 조명방법및조명장치

요약

광원수와 분할 광빔수를 최적화하여, 충분히 저감된 스펙클 콘트라스트를 가진 광빔을 조명광으로서 사용할 수 있다. 공간 변조기를 통해 결상하기 위한 광학 시스템에서, 파수의 스펙트럼 폭을 갖고, N개(N은 10이상의 정수임)의 광원으로부터 출사된 레이저 광은 번들 파이버로 가이드되어, 광을 M개의 광빔으로 분할(M은 2 이상의 정수임)하고, 각각의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 공간 변조기를 조명하기 위하여 광축이 서로 다시 맞추어지고, 피조명체 상의 일정으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수식 49,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N을 설정한다.

대표도

도 8

색인어

번들 파이버, 광원수, 공간 변조기, 스펙클, 콘트라스트

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 본 발명의 제1 실시예에 따른 조명 장치를 나타내는 개략 구성도.
 도 2는 동일, 제1 실시예에 사용할 수 있는 번들 파이버의 개략 모식도.
 도 3은 동일, 제2 실시예에 따른 조명 장치의 광원부 부근의 개략 구성도.
 도 4는 동일, 제2 실시예에 따른 조명 장치의 다른 광원부 부근의 개략 구성도.
 도 5는 동일, 제3 실시예에 따른 조명 장치의 광원부 부근의 개략 구성도.
 도 6은 동일, 제3 실시예에 따른 조명 장치의 다른 광원부 부근의 개략 구성도.
 도 7은 동일, 제4 실시예에 따른 조명 장치의 공간 변조기 부근의 구성을 나타내는 개략 모식도.
 도 8은 동일, 제4 실시예에 따른 조명 장치의 다른 공간 변조기 부근의 구성을 나타내는 개략 모식도.
 도 9는 동일, 제5 실시예에 따른 계측 장치를 나타내는 개략 구성도.
 도 10은 동일, 제6 실시예에 따른 노광 장치(또는 현미경)를 나타내는 개략 구성도.
 도 11은 동일, 제7 실시예에 따른 계측 장치의 개략 구성도.
 도 12는 동일, 제8 실시예에 따른 조명 장치의 개략 구성도.

도 13은 레이저 광 파장폭에 의한 스펙클의 콘트라스트의 변화를 나타내는 그래프.

도 14는 본 발명의 제8 실시예에서의 스펙클의 콘트라스트를 10%로 억압하기 위해서 필요한 레이저의 갯수를 나타내는 그래프.

도 15는 도 14의 스펙클의 콘트라스트를 5%로 억압하기 위해서 필요한 레이저의 갯수를 나타내는 그래프.

도 16은 종래의 플라이 아이렌즈를 이용한 조명 장치의 일부 개략 모식도.

도 17은 동일, 프리즘을 이용한 조명 장치의 일부 개략 모식도.

도 18은 코히어런스 제어의 필요성을 설명하기 위한 개략 모식도.

도 19는 동일, 다른 개략 모식도.

도 20은 광 파이버 중의 모드 분산에 의한 코히어런스 저하의 원리를 나타내는 개략 모식도.

도 21은 물체의 표면 거칠기에 의한 스펙클의 콘트라스트의 변화를 나타내는 그래프.

<도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명>

1 : 번들 파이버

2a, 2b, 2c, 2d : 광 파이버

3 : 입사단

4 : 출사단

5 : 클래드

6 : 코어

8 : 절첩부

10 : 레이저 발진기

11 : 렌즈

12 : 번들 파이버

13 : 광 파이버

14 : 렌즈

15 : 공간 변조기

16 : 투영 렌즈

17 : 스크린

21a, 21b, 21c, 25a, 25b, 25c, ... : 반도체 레이저

20, 22a, 22b, 22c : 렌즈

23a, 23b, 23c, 26a, 26b, 26c, 27a, 27b, 27c, 28 : 번들 파이버

31, 31a, 31b, 31c : 레이저 커플러 유닛

32a : P 편광 반도체 레이저

32b : S 편광 반도체 레이저

33a, 33b : 렌즈

34 : 미러

35 : 편광빔 분할기

36, 36a, 36b, 36c : 렌즈

37, 37a, 37b, 37c : 번들 파이버

38 : 결합기

40 : 반사형 공간 변조기

41 : 빔 분할기

42, 42a, 42b, 42c : 공간 변조기 유닛

43 : 다이클로익 미러

45 : 번들 파이버

46 : 계측 대상

47 : 계측면

48 : 관찰 광학계
 49 : 수광기
 51 : 번들 파이버
 52 : 컨덴서 렌즈
 53 : 피조명 물체
 54 : 대물 렌즈
 55 : 상
 60 : 번들 파이버
 61 : 콜리메이터 렌즈
 62 : 빔 분할기
 63 : 참조 거울
 64 : 미러
 65 : 관찰면
 66 : 삼차원 형상을 갖는 샘플
 67 : 생체 샘플
 71 : 플라이 어레이 렌즈
 72 : 렌즈
 73 : 마스크
 75 : 프리즘
 80 : 물체
 81 : 렌즈
 82 : 스크린
 83 : 상
 84 : 관찰자
 85 : 물체
 86 : 렌즈
 87 : 스크린
 88 : 안구
 89 : 망막
 90, 91 : 광빔
 92 : 광 파이버
 93 : 코어
 94 : 클래드
 101 : 광원
 102, 103, 105 : 렌즈
 104 : 다-모드 광 파이버
 105 : 스크린

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 표시 장치, 계측 장치, 현미경, 노광 장치 등의 조명용 광빔을 발생시키는 조명 방법 및 조명 장치에 관한 것이다.

종래, 예를 들면 투사형 액정 디스플레이나 계측 장치 등의 조명 장치에 이용하는 조명광의 광원 으로서는 램프나 발광 다이오드(LED)와 같은 인코히어런트 광원이 이용되어 왔다.

이에 대해서, 고체 레이저, 기체 레이저, 또는 반도체 레이저 등의 레이저를 광원으로 하는 레이저 광을 조명광에 이용하고자 하는 시도가 행해지고 있다. 레이저 광은 지향성에 우수하면서 동시에 높은 강도를 갖고 있으며, 코히어런트성이 높은 광범이다. 그러나, 여기서 가장 기술적으로 곤란한 문제가 되는 것은 높은 코히어런트성으로 야기되는 스펙클이다.

예를 들면, 반도체 레이저는 광전 변환 효율이 매우 높으며, 지향성이 우수한 레이저 광을 출사하는 광원이다. 그러나, 높은 코히어런스에 의한 스펙클의 문제 때문에, 조명용 광원으로서 이용되는 일은 적었다.

또한, 1970년대에는 레이저 광을 이용한 디스플레이(이하, 레이저 디스플레이라고 함)의 연구가 각지에서 행해졌지만, 광원의 출력 부족이나 변조 방법 등의 과제 외에 그 실용화의 장애가 된 문제 중 하나는 이 스펙클의 문제였다.

최근, 고체 레이저의 파장 변환을 이용한 고출력 레이저, 적(R)·녹(G)·청(B)의 삼원색을 발진 가능한 반도체 레이저, 및 액정이나 마이크로 머신을 이용한 공간 변조기(라이트 밸브) 등 레이저 디스플레이의 키 성분이 되는 요소 기술의 개발이 급속도로 진행되고 있다.

스펙클의 콘트라스트는 광원으로부터 방출된 광빔의 파장폭에 강하게 의존하는 것이 알려져 있다. 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼(spectrum)의 반값 전폭을 $\Delta\lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W , 파수의 스펙트럼을 $S(k)$ 라 할때, 즉,

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

로서, 이 광을 이용하여 물체를 조명하고, 그 물체를 결상하는 광학계에서, 물체 상의 일점으로부터 각각에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차의 흔들림을 갖을 때에 조명 강도의 평균치 $\langle I \rangle$ 에 대하여, 스펙클의 강도의 표준 편차 σ_I 는,

$$\frac{\sigma_I^2}{\langle I \rangle^2} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2}}$$

로 주어지는 것을 알 수 있다(G. Parry, "Laser Speckle and Related Phenomena", pp. 93, Springer-Verlag, 1984 참조).

또한, N개의 서로 인코히어런트이며(즉, 서로 간섭하지 않음), 상관없는 스펙클 패턴을 중합시켰을 때, 그 합은 각 스펙클 패턴의 강도 합이 된다. 이 때, 스펙클의 콘트라스트는 $1/\sqrt{N}$ 으로 저하한다.

예를 들면, N개의 광 파이버를 번들하여 각각의 광 파이버의 길이를 코히어런스 길이 이상 바꾸면, 각 광 파이버 간의 간섭은 무시할 수 있게 된다. 이 때의 스펙클은 각 광 파이버에 의해서 생기는 스펙클 패턴 $I_1, I_2, \dots, I_N$ 의 강도의 중첩이다. 따라서, 스펙클의 콘트라스트는 평균화(균일화)에 의해서 저하한다.

이에 대해서 문헌(E. G. Rawson, J. W. Goodman, R. E. Norton, J.O.S.A. 70, pp. 968-976, 1980, Appendix)을 참조하여 설명한다.

우선, 각 광 파이버로부터의 스펙클 패턴의 공간적 평균 강도를 임의로 또한 각 스펙클의 콘트라스트를 I 로 하면,

$$I = \sum_{k=1}^N I_k$$

가 된다.

이 때, 다음식에서 나타내며, 중첩의 결과에 따라 생기는 스펙클의 콘트라스트 C 와, 실효적인 스펙클의 다중도 $N_{eff}(N_{eff})$ 를 구한다. 스펙클의 콘트라스트 C 는,

$$C = \frac{1}{\sqrt{N_{eff}}}$$

로 나타내며, 또한 전체 합의 앙상블 평균 강도는 다음 식과 같이 각 앙상블 평균 강도의 합으로서 얻어진다.

$$\bar{I} = \sum_{k=1}^N \bar{I}_k$$

이 때, 분산 σ_I^2 는,

$$\begin{aligned}\sigma_I^2 &= \overline{I^2} - (\overline{I})^2 = \overline{\sum_k I_k \sum_l I_l} - (\sum_k \overline{I_k})(\sum_l \overline{I_l}) \\ &= \sum_k \sum_l (\overline{I_k I_l} - \overline{I_k} \overline{I_l})\end{aligned}$$

로 나타내며, k번째의 스펙클과 l번째의 스펙클 패턴의 상관 계수를 ρ_{kl} 이라고 하면,

$$\begin{aligned}\rho_{kl} &= \frac{I_k I_l - \overline{I_k} \overline{I_l}}{\sqrt{(I_k - \overline{I_k})^2 (I_l - \overline{I_l})^2}} \\ \sigma_I^2 &= \sum_k \sum_l \rho_{kl} \sqrt{(I_k - \overline{I_k})^2 (I_l - \overline{I_l})^2}\end{aligned}$$

가 된다.

여기서, l번째의 콘트라스트의 가정과,

$$\sigma^2 = \overline{u^2} - (\overline{u})^2$$

와의 관계에 의해,

$$\begin{aligned}\overline{I_k^2} &= 2(\overline{I_k})^2 \\ \sqrt{(I_k - \overline{I_k})^2} &= \sqrt{\overline{I_k^2} - (\overline{I_k})^2} = \overline{I_k} \\ \sigma_I^2 &= \sum_k \sum_l \rho_{kl} \overline{I_k} \overline{I_l}\end{aligned}$$

가 되며, 따라서 전 스펙클의 패턴의 합의 콘트라스트는,

$$C = \frac{\sigma_I}{\overline{I}} = \frac{\sqrt{\sum_k \sum_l \overline{I_k} \overline{I_l} \rho_{kl}}}{\sum_k \overline{I_k}}$$

가 된다. 즉, 실효적인 스펙클의 다중도 $N_{eff}(N_{eff})$ 는,

$$N_{eff} = \frac{1}{C^2} = \frac{\sum_k \sum_l \overline{I_k} \overline{I_l}}{\sum_k \sum_l \overline{I_k} \overline{I_l} \rho_{kl}}$$

가 된다.

여기서, N개의 스펙클 패턴이 상호 전부 무상관이면,

$$\rho_{kl} = \begin{cases} 1 & (k=l) \\ 0 & (\text{기타}) \end{cases}$$

이며 이 때,

$$N_{eff} = \frac{1}{C^2} = \frac{\sum_k \sum_l \overline{I_k} \overline{I_l}}{(\sum_k \overline{I_k})^2} \xrightarrow{(\text{for any } k, l) \overline{I_k} = \overline{I_l}} \frac{N^2}{N} = N$$

가 성립한다. 즉, 무상관으로 강도가 같은 N개의 스펙클 패턴을 서로 중합하면 콘트라스트는 $1/\sqrt{N}$ 이 된다.

Fujii 등은, 공간적으로 부분 코히어런트인 조명에 의한 랜덤 위상 물체의 화상에 생기는 스펙클의 콘트라스트를 구하였다(H. Fujii, T. Asakura, Opt. Comm. 12, pp. 32-38, 1974 참조).

그에 따르면, 스펙클 콘트라스트 C는,

$$C = \frac{\int \int \Gamma(x_1, x_2) \Gamma(x_3, x_4) K(x'_1 - x'_2) K(x'_3 - x'_4) K(x'_1 - x'_3) K(x'_2 - x'_4) \times \exp[R(x_1 - x_2) + R(x_3 - x_4)] \times \{\exp[-R(x_1 - x_3) - R(x_2 - x_4) + R(x_1 - x_4) + R(x_3 - x_2)] - 1\} \times dx_1 dx_2 dx_3 dx_4}{\int \int \Gamma(x_1, x_2) K(x'_1 - x'_2) \exp[R(x_1 - x_2)] dx_1 dx_2}$$

로 나타내고 있다. 여기서, Γ 는 물체의 2점 간에서의 전장 진폭의 상관 함수, K 는 진폭 전달 함수, R 은 물체 위상의 상관 함수를 각각 나타낸다.

전형적인 수치예에 대해서, 이들의 함수를 삼각형의 영역에서 근사 계산하면, 다음과 같은 결과가 얻어진다.

즉, 광학계의 진폭 인펄스 응답의 해상도 $k_m = 1.8\mu m$ 로 하고, 공간적 코히어런트 길이 $L_c = 15\mu m$ 로 한다. 물체 조면의 거칠기를 상관 길이 α 로 나타낸다. 상관 길이 α 를 $0.1\mu m$, $0.5\mu m$, $1.0\mu m$, $2.0\mu m$, $5.0\mu m$, 및 $10.0\mu m$ 로 각각의 파라미터를 바꿔서 스펙클의 콘트라스트를 종축으로 플롯하면, 도 1에 도시하는 바와 같은 그래프가 얻어진다. 여기서, 도 1의 그래프의 횡축 $\langle \sigma^2 \rangle$ 는 깊이의 2승 평균이다.

즉, 물체가 충분히 거친 조면을 갖는 경우, $\langle \sigma^2 \rangle$ 는 증가하고 α 는 감소한다. 통상의 스크린 등은 충분히 거친 면을 갖고 있다고 생각해도 좋다. 또한, 도 1에 도시한 그래프로부터, 이 계산 예에 대한 스펙클의 콘트라스트는 약 0.85 정도가 된다.

최근, 스펙클(스펙클 패턴)은 반도체 노광 장치의 분야에서도 큰 문제가 되고 있으며, 이에 대한 대책이 진행되고 있다. 이것은, 해상도를 향상시키기 위해서 단파장 광원인 엑시마 레이저가 도입된 것이 배경에 있다.

반도체의 노광 장치에서, 코히어런스의 제어 즉, 스펙클 대책으로서 예를 들면 도 2에 도시한 바와 같이, 길이가 다른 엘리먼트로 구성되는 플라이 아이 렌즈(71)를 이용하고, 이 플라이 아이 렌즈(71)의 출사측 단부면과 마스크(73) 간에 있어서, 서로로부터의 거리 f 의 위치에 렌즈(72)를 배치한다고 하는 코히어런스 저감법이 제안되고 있다(澁谷 真人, 上原 誠, "조명 광학 장치", 특공소 60-230629호 공보 참조).

그러나, 이 방법에서는 플라이 아이 렌즈(71)의 엘리먼트 길이가 커지며, 또한 각 엘리먼트로부터의 조명 영역의 크기가 다르므로 효율이 저하하는 등의 과제가 있었다.

또한, 유사한 효과를 도 3에 도시한 바와 같은 프리즘(75)을 이용하여 실현하는 것이 제안되고 있다(특원소 63-22131호 공보 참조). 그러나, 이 방법은 코히어런스 저감 효과가 불충분하며, 또한 광학적 손실이 크다.

또한, 원리적으로는 굴절률의 분산을 이용하여 유사한 효과를 올릴 수도 있지만, 통상의 굴절률 분산을 이용하는 방법으로 충분한 효과를 얻기 위해서는 코히어런스 저감을 위해 엘리먼트가 거대화한다고 하는 문제가 있었다.

이외에도, 코히어런스 제어의 수많은 방법이 제안되고 있다. 그러나, 임의의 방법에 따라서도, 디스플레이나 현미경 등에서 피조명 물체와 육안 간에 생기는 스펙클을 충분히 저하시키기 위한 것은 아니다. 또한, 이 스펙클을 제거하기 위해서는 리소그래피와 같은 투영 노광 장치보다도 엄격한 코히어런스 제어가 필요해진다.

즉, 도 4에 도시한 바와 같이, 조명광 "a"에 의해서 조명된 물체(80)는 렌즈(81)를 통해 스크린(82) 상에 그 상(83)을 형성한다. 여기서, 조명광 "a"가 코히어런트 광인 경우, 물체(80)의 조면 상태나 렌즈(81)의 광학면의 상태 등에 의한 랜덤인 위상의 착란을 받아 스크린(82) 상의 상(83)은 스펙클을 수반한다.

또한, 도 5에 모식적으로 도시한 바와 같이, 물체의 렌즈에 의한 스크린 상부의 상을 눈으로 관찰하는 것은 물체(85)의 렌즈(86)에 의한 스크린(87) 상의 상을 안구(88)에 의해서 망막(89)에 결상하는 것이 분명하다. 즉, 이 과정에서, 스크린(87)과 안구(88)에서의 광의 착란에 의해서 랜덤 위상의 어긋남이 광로 상에 생기고, 이 결상 과정에서도 마찬가지로 스펙클이 발생한다. 또한, 가령 스크린(87) 상부에 스펙클이 중첩되어 있지 않아도, 상 평면 상에서 공간적 코히어런스가 있으면, 육안[망막(89)] 상에서 2차 스펙클이 생긴다.

또한, 리소그래피 기술에 기초하는 투영 노광 장치에서 이용되는 미러 요동이나 회전 확산판 등의 방법은 코히어런스를 저하시키는 것은 아니고, 스펙클을 이동시켜서 평균화시키는 것뿐이다. 따라서, 이들의 방법을 이용하여도, 육안에 생기는 스펙클에 대한 효과는 그다지 없다. 이 방법을 디스플레이 등에 적용하도록 하면, 스크린 등의 피조명 물체와 눈 간의 위치 관계가 변하도록 스크린을 진동시킬 수밖에 없다(Eric G. Rawson, Antonio B. Nafarrate, Robert E. Norton, Joseph W. Goodman, "Speckle-free rear-projection screen using two close screens in slow relative motion," Journal of Optical Society of America, Vol.66, No. 11, November 1976, pp 1290-1294 참조). 그러나, 이것은 실용 상 매우 불편하다.

한편, 지금까지 광 파이버는 주로 통신 용도를 목표로 하여 개발이 진행되고 있으며, 그 구성 재료로서는 석영 등을 주성분으로 하는 유리 재료(유리 파이버)가 주로 이용되어 왔다. 또한, 모드 분산을 피하기 위해서 싱글 모드 광 파이버의 개발에 주안이 놓여지고 있다.

또한, 유리 파이버는 가시 단파장 영역에서는 산란이 증가하고 그 투과율이 저하한다. 따라서, 가시광에 대한 광 파이버의 응용은 장거리의 전송을 필요로 하지 않은 현미경 등의 조명용 다-모드 광 파이버 다발(다-모드 파이버 번들) 등에 한정되어 왔다. 특히, 다-모드 광 파이버를 이용한 경우, 출사 광의 강도 분포가 균일해지기 때문에, 플라이 아이 렌즈와 같은 복잡한 광학계를 필요로 하지 않은 것도 큰 메리트이다.

이에 관련하여, 최근 플라스틱 다-모드 광 파이버가 개발되어 주목을 모으고 있다(Takaaki Ishigure, Eisuke Nihei, and Yasuhiro Koike, "Graded-index polymer optical fiber for high-speed data communication", Applied Optics, Vol.33, No.19, 1.July 1994, pp. 4261-4266 참조).

플라스틱 파이버는 유리 파이버와 비교할 때 영가이고 경량이며, 가시 범위에서 최대의 투과 효율을 나타낸다고 하는 특징이 있다. 또한, 다-모드 분산도 통상의 유리 파이버에 비교하여 매우 크다.

한편, 최근에서는 자외 레이저 전송용 중공 도파관으로도 연구되고 있다(제58회 응용 물리학회 학술 강연회 예비 요약 원고집, 3a-SR-18, 坪倉正樹, 橋新裕一, 久保宇市, 「자외 레이저 파워 전송용 중공 도파관의 개선」 참조).

다-모드 광 파이버 전송 중의 다-모드 분산에 의해, 스펙클의 콘트라스트가 저하하는 것은 알려져 있었다(今井正明, 「광 파이버의 흔들림 특성과 스펙클」, 광학 제8권 제3호, 1979년 6월 pp. 128-134 참조).

즉, 도 6에 도시한 바와 같이, 코어(93)와 클래드(94)로 이루어지는 다-모드 광 파이버(92) 중에서는 다른 모드를 갖는 레이저 광(90) 및 레이저 광(91)은 각각 다른 전송 속도를 갖고 있다. 따라서, 다-모드 광 파이버(92)의 출사단(95) 측에서 서로 다른 모드 성분을 갖는 광빔은 다른 시간(t_1 , t_2 및 t_3)에 입사한 광빔에 대응하게 된다. 따라서, 이 모드 분산에 의한 확대가 코히어런스 길이 이상이면 출사광의 코히어런스는 저하한다.

그러나, 이러한 다-모드 광 파이버 단독으로는 충분히 큰 강도를 갖는 레이저 광을 전파시키는 것은 곤란하다. 또한, 이것을 묶은 경우(번들한 경우)라도 각 광 파이버로부터 출사되는 레이저 광은 서로 가간섭성을 갖고 있기 때문에, 코히어런스의 제어 즉, 스펙클을 충분히 저감시키는 것은 곤란하며 또한 이것을 조명 용도에 실용적으로 응용하기 위해서는 분산이 크게 가시 영역에서의 투과율이 높은 광 파이버가 필요해진다.

이러한 실정에 감안하여, 최근에는 광원의 코히어런트 길이 이상 길이가 다른 광 파이버의 번들(번들 파이버)을 이용하여 스펙클을 저감시키는 방법이 제안되고 있다(D.Kohler, W.L.Seitz, T.R.Loree and S.D.Gardner, "Speckle reduction in pulsed-laser photographs", Optics Communications, 12, pp. 24-28, 1974, Benjamin Dingel and Satoshi Kawata, "Laser-diode microscope with fiber illumination", Optics Communications, 93, pp. 27-32, 1992, B.Dingel, S.Kawata, S.Minami, "Speckle reduction with virtual incoherent laser illumination using a modified fiber array", Optik, 3, pp. 132-136, 1993 참조). 또한, 이에 대해서는 본 출원인도 제안하고 있다(특원평 10-25646호 : 출원일 평성 10년 2월 6일).

그러나, 번들 파이버를 이용하여 스펙클을 저감시키는 경우도 포함시켜서, 일반적으로 스펙클의 콘트라스트를 충분히 저감시키기 위해서는 광빔의 분할수나 광원의 갯수 등을 충분히 고려해야만 한다.

예를 들면, 인간의 눈에서는 어느 정도의 스펙클 콘트라스트까지 인식할 수 있는지는, 주위의 밝기, 색, 개인차 등에 따라 다르다. 그러나, 일반적으로는 화면 내에서 10% 이내의 얼룩집이면 허용할 수 있으며 또한 5% 이하이면 인간의 눈으로는 인식할 수 없다. 이것은, 동화상과 정지 화상, 단색 화상과 다색 화상과도 다르지만 대략 이 정도의 값이다.

발명이 이루고자하는 기술적 과제

본 발명은 상술한 실정에 감안하여 이루어진 것으로 광원의 갯수나 광빔의 분할수를 최적화하고, 스펙클의 콘트라스트가 충분히 저감한 광빔을 조명광으로서 이용하는 조명 방법 및 그 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

즉, 본 발명의 조명 방법(이하, 제1 조명 방법으로 간주함)에 따르면, 조명될 물체의 화상을 형성하기 위한 광학계에서, N개(N은 1 이상의 정수임)의 광원으로부터 출사된 광빔을 M개의 광빔(M은 2 이상의 정수임)으로 분할하고, 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 이들 광빔의 광축을 다시 맞추고, 이에 따라 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 것일 때, 상기 피조명체를 결상하는 광학계에서, 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학식 27,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수학식 27에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭을 나타낸다.)

본 발명의 제1 조명 방법에 따르면, 조명될 물체의 화상을 형성하기 위한 광학계에서, N개의 광원으로부터 출사된 광빔을 M개의 광빔으로 분할하여, 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 이들 광빔의 광축을 다시 맞추고, 이에 따라 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 것일 때, 상기 피조명체를 결상하는 광학계에서, 상기 피조명체 상의 일점으

로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수식 28,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N을 설정한다.

따라서, 예를 들면 인간의 눈에서 충분히 허용할 수 있는 범위(특히 스펙클 콘트라스트가 10% 이하)에까지 스펙클을 저감시킬 수 있으며, 이에 의해서 스펙클의 콘트라스트가 충분히 저감한 광빔을 조명광으로서 이용할 수 있다.

또한, 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차의 표준 편차 σ_z 는 예를 들면, 상기 피조명 물체를 결상하는 스크린의 표면 거칠기의 표준 편차 σ_z 와 대응하는 것이다. 또한, 상기 W는 예를 들면 레이저 광원으로부터 출사된 레이저 광의 반값 전폭에 대응하는 것이다(이하, 마찬가지로).

또한, 본 발명의 조명 장치(이하, 제1 조명 장치로 간주함)에 따르면, 조명될 물체의 화상을 형성하기 위한 광학계에서, 제1 조명 방법을 재현성 좋게 실시하는 장치로서, N개(N은 10이상의 정수임)의 광원으로부터 출사된 광빔을 M개의 분할된 광빔(M은 2 이상의 정수임)으로 분할하고, 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 이들 광빔의 광축을 다시 맞춰, 이에 따라 가간섭성이 저감한 광빔에 의해서 피조명체를 조명하는 조명 장치에 있으며, 상기 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수식 29,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수식 29에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭이다.)로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N이 설정되어 있다.

또한, 본 발명의 다른 조명 방법에 따르면(이하 제2 조명 방법이라 간주함), 상기 피조명체를 결상하기 위한 광학계에서, N'개(N'는 2 이상의 정수임)의 광원으로부터 출사된 광빔의 광축을 맞춘 후, 상기 광빔의 가간섭성을 저감시키고, 이에 따라 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하고, 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수식 30,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수식 30에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼 폭이다.)로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'를 설정하는 것이다.

제2 조명 방법에 따르면, 피조명체를 결상하기 위한 광학계에서, N'개의 광원으로부터 출사된 광빔의 광축을 맞춘 후, 상기 광빔의 가간섭성을 저감시키고, 이에 따라 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하고, 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수식 31,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'를 설정한다. 따라서, 예를 들면 인간의 눈에서 충분히 허용할 수 있는 범위(특히, 스펙클 콘트라스트 10% 이하)에까지 스펙클을 저감시킬 수 있으며, 이에 따라 스펙클의 콘트라스트가 충분히 저감한 광빔을 조명광으로서 이용할 수 있다.

또한, 본 발명의 조명 장치(이하, 제2 조명 장치로서 간주함)에 따르면, 본 발명의 제2 조명 방법을 재현성 좋게 실시하는 장치로서 N'개(단지, N'는 2 이상의 정수이다.)의 광원으로부터 출사된 광빔의 광축을 맞춘 후, 상기 광빔의 가간섭성을 저감시키고, 이에 따라 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 조명 장치에 있어서, 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수식 32,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수식 32에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼 폭을 나타낸다.)로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'가 설정되어 있다.

발명의 구성 및 작용

우선, 본 발명의 제1 조명 방법 및 제2 조명 방법의 작용을 설명한다.

본 발명은, 예를 들면, 화상 표시 장치, 계측 장치, 또는 현미경 등에서 특히, 상기 광빔으로서, 거의 동일 파장을 갖는 N개의 광원의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반값 전폭을 $\Delta\lambda$, 파수의 스펙트럼 폭을 W, 그리고 파수의 스펙트럼을 S(k)로 하면, 하기 수학식 33이 성립된다.

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta k}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

또한, 각각의 광원으로부터의 광을 M개의 광빔으로 분할하는 광학계에서, 각각의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 다시 합함으로서(대안적으로, 각각의 광원으로부터의 광을 분할하지 않고서 광빔의 가간섭성을 저감시켜서), 가간섭성을 저감시킨 광빔을 얻어, 이 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 물체를 조명하고, 그 물체를 결상하는 광학계가 물체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상상의 점까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차의 흔들림을 갖을 때,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

의 관계를 만족하는 것이다.

상기 광원으로서, 반도체 레이저, 고체 레이저 및 그 고조파나 합주파, 차주파 등의 비선형 파장 변환 과정을 거친 레이저 광을 이용하는 것이 바람직하다. 또한, 레이저 광의 파장으로서는 가시 범위뿐만 아니라, 자외 범위나 적외 범위의 레이저 광만으로도 좋다. 그리고, 광원이 1개(N=1)의 경우나 분파를 행하지 않은 경우(M=1)에도 상기한 식 A를 만족한다면 좋다. 특히, 상기 광로 길이차를 부여하는 수단으로서 광 파이버를 이용하는 것이 바람직하다.

즉, N개의 광원으로부터의 광을 M개의 광빔으로 분할하고, 코히어런트 길이 이상의 광로 길이차를 광빔에 준 후, 모든 광빔을 합한다면, 각각의 성분은 인코히어런트이기 때문에, N×M개의 스펙클 패턴의 강도합이 관찰되게 된다. 따라서, 스펙클의 콘트라스트는,

$$\frac{1}{\sqrt{NM}}$$

가 된다.

광원에서의 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반값 전폭을 $\Delta\lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W, 그리고 파수의 스펙트럼을 S(k), 즉

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

라고 할 때, 그리고 조명 강도의 평균치 $\langle I \rangle$ 에 대한 스펙클의 강도의 표준 편차가 σ_I 일 때, 스펙클 콘트라스트는,

$$\frac{\sigma_I}{\langle I \rangle} = \frac{1}{\sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2}}$$

로 나타내며, 광원으로부터 출사되는 레이저 광의 파장폭이 넓어지면, 스펙클 콘트라스트는 저하한다. 결상계의 스펙클 콘트라스트를 C_1 라고 할때, 마침내 모든 계의 스펙클 콘트라스트 C는 다음 식에서 부여되게 된다.

$$C = \frac{C_1}{\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2}}$$

이 광빔을 조명광으로서 이용할 때, 스펙클에 의한 화상 저하를 피할 수 있고, 디스플레이, 계측기, 노광 장치 등을 실현할 수 있다. 그러나, 이 때 특히 레이저 디스플레이의 경우와 같이, 인간의 눈의 시감도의 점으로부터는 스펙클의 콘트라스트 C가 0.1이하인 것이 목표가 된다. 또한,

콘트라스트 C_l 가 0.1이하이면, 별로 스펙클의 저감화를 꾀할 필요가 없으므로 C_l 가 0.1 이상인 경우를 생각한다($C_l \geq 0.1$).

또한, 최종적으로 관찰되는 스펙클의 콘트라스트 C 는 0.1 이하인 것이 바람직하다($C \leq 0.1$). 따라서, 전 식에 기초하여, 하기 수학적 식 39,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

가 성립하게 된다. 이것은 스펙클 콘트라스트가 10% 이하가 되기 위한 조건이며, 인간이 상을 관찰하는 경우, 허용할 수 있는 정도이다.

특히, 정지 화상과 같은 스펙클 콘트라스트에 대한 요구가 더 엄한 경우는 콘트라스트 C 가 5% 이하인 것이 바람직하다. 이 경우는,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 2$$

이면 좋다. 또한, 응용 분야가 다를 때, 스펙클 콘트라스트의 허용 범위가 변하지만, 레이저 디스플레이와 같은 표시 장치의 경우에 요구되는 스펙클 콘트라스트(10% 이하, 그위에 5% 이하)가 가장 엄한 값이라고 생각된다. 상술한 범위 내이면, 계측 장치, 노광 장치, 현미경 등에도 충분히 대응 가능하다.

본 발명에서, 상기 조건을 만족한다면, 광원의 갯수 N 과 분할수(분파수) M 은 1 보다 크면 좋다. 즉, 본 발명의 제1 조명 방법 및 조명 장치에서, 광원의 갯수 N 이 1개 이상으로서 분할수 M 이 2 이상의 경우가 고려되고 있으며 또한 본 발명의 제2 조명 방법 및 조명 장치는 광원의 갯수 N 이 2 이상에 있어서 분할수 M 이 1의 경우가 의도되고 있다.

상기 광원으로서, 취급이 용이한 반도체 레이저나 고체 레이저, 그위에 그 비선형 광학 효과에 의한 파장 변환광을 이용하는 것이 응용상 유리하다. 특히, 반도체 레이저가 넓은 발진 파장폭을 갖기 때문에, 파수의 스펙트럼 폭 W 가 크다. 따라서, 레이저의 갯수나 분파의 갯수를 적게 할 수 있으므로, 광학계가 간단해진다.

한편, 엑시마 레이저나 고체 레이저의 파장 변환에 의한 자외광을 상기 광원으로서 이용하는 것도 가능하다. 이러한 단파장 레이저 광을 이용한 조명 장치는 높은 해상력을 갖으므로 특히 노광 장치에 적합한다.

또한, 광로 길이에 대한 차를 주기 위한 수단으로서, 길이를 바꾼 광 파이버의 번들을 이용하는 것이 간편하다. 기타, 전술한 프리즘(도 3 참조)이나 플라이 아이 렌즈(도 2 참조)와 같은 수단을 이용하여도 좋다.

또한, 본 발명의 조명 장치는 디스플레이뿐만 아니라 현미경이나 계측 장치, 더 나아가 노광 장치 등에 응용하는 것은 물론 가능하다.

다음, 본 발명의 제1 조명 방법 및 제1 조명 장치에 대해서 더 상세하게 설명할 것이다.

본 발명의 제1 조명 방법 및 제1 조명 장치에서, 광원으로부터 출사되는 광빔에 관하여, 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반값 전폭을 $\Delta \lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W , 파수의 스펙트럼을 $S(k)$ 로 할 때, 하기 수학적 식 41,

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta k}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

가 성립하고 있는 것이 바람직하다.

또한, 하기 수학적 식 42,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 2$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 N 을 설정하는 것이 바람직하다. 이와 같이 설정함으로써 스펙클의 콘트라스트를 더 5% 이하로 억제할 수 있다.

한편, 분할 후의 광빔에 대하여 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 주기 위해서, 광원으로부터 출사된 광빔을 가간섭 거리 이상으로 길이가 서로 다른 복수의 광 파이버를 묶은 광 파이버군에 입사하는 것이 바람직하다. 이 광 파이버로서는 다-모드 광 파이버를 이용하는 것이 바람직하다.

일반적으로, 다-모드 광 파이버를 통해 전파하는 코히어런트인 광빔에서, 모드 분산에 의해 그 코히어런스가 저하한다. 또한, 상기 복수의 광 파이버는 코히어런트 길이 이상의 길이의 차를 갖고

있기 때문에, 각 광 파이버 출사 후의 광빔은 서로 가간섭성을 갖지 않는다.

따라서, 광원의 크기(스펙클)가 넓어지게 되며, 공간 코히어런스가 감소한다. 그리고, 이것을 합파한 후 광빔의 코히어런스가 저하하고, 코히어런스가 낮아질 때, 스펙클 콘트라스트는 감소한다. 또한, 이 광을 조명광으로서 이용할 때, 스펙클에 의한 화상의 저화없이, 디스플레이, 계측기, 노광 장치 등을 실현할 수 있다. 더구나, 다-모드 광 파이버로부터의 출사광빔이 강도 분포가 균일하기 때문에, 균일하며 또한 고강도의 조명이 코히어런스의 저감과 동시에 실현될 수 있다.

이하, 다-모드 파이버 중의 모드 분산에 대해서 자세하게 설명할 것이다.

굴절율이 높은 코어와 이보다도 굴절율이 낮은 클래드로 이루어지는 스텝 인덱스 파이버의 경우에, 그 차광 모드 총수 N 은 하기의 수학적식 (1)로 주어진다.

$$N \cong V^2/2$$

상기 수학적식 (1)에서, V 는 하기 수학적식(2)에서 나타내는 규격화 주파수이다.

$$V = k_0 a (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

[상기 수학적식 (2)에서, k_0 는 진공 중의 파수($=\omega/c$: ω 는 각 주파수, c 는 광속도), n_1 은 코어 굴절율, n_2 는 클래드 굴절율, 그리고 a 는 코어 반경을 각각 나타낸다.]

예를 들면, 코어 반경 a 가 $500\mu\text{m}$ 직경이며, 코어 굴절율 n_1 , 클래드 굴절율 n_2 가 각각 $n_1 = 1.492$, $n_2 = 1.456$ 의 플라스틱 파이버에 파장 500nm 의 광빔을 입사할 때, 차광 총 모드수 N 은 약 500,000 모드가 된다. 즉, 다-모드 파이버 중에서, 모드 분산에 의해 펄스는 크게 넓어진다. 이러한 다-모드의 경우에, 모드 굴절율은 코어 굴절율로부터 클래드 굴절율까지 넓어지고 있다고 생각해도 좋다.

따라서, 길이 L 의 광 파이버를 통과하는 펄스의 선두와 후미의 거리는 하기 수학적식 (3)으로 나타낸다.

$$c[(n_1 L/c) - (n_2 L/c)] = (n_1 - n_2)L$$

그 결과로서 동일 시각에 광 파이버의 광 입사측에 입사하는 파장 500nm 의 광빔(δ 함수형의 동일 시각에 입사한 펄스)이 예를 들면 1m 길이의 광 파이버로부터 출사할 때, 전후 간 2.6cm 의 펄스폭으로 넓어지게 된다.

이와 같이, 광 파이버에 입사하는 광빔의 코히어런스 길이가 이 펄스폭보다도 짧을 때, 비록 입사광이 연속광이라도 코히어런스가 저하한다. 예를 들면, 다-모드 발진 가능한 고체 레이저의 레이저 광, 또는 그 고조파를 이용한다면, 약 수 mm 정도의 코히어런스 길이가 실현될 수 있다. 따라서, 다-모드 광 파이버를 통해 전파하는 광빔의 시간 코히어런스는 저감하게 된다.

또한, 공간적으로도 수많은 모드가 중합에 의해 공간적 코히어런스가 저하한다. 이 영향에 대해 상술한 바와 같이, 광 파이버의 모드 분산 길이(광 파이버의 광 출사단에서의 가장 빠른 모드와 가장 느린 모드와의 차)가 광원의 코히어런스 길이보다 짧더라도 코히어런스는 저하한다. 그러나, 보다 효과적으로 코히어런스를 억압하기 위해서는 광 파이버의 모드 분산 길이가 광원의 코히어런스 길이보다 긴 것이 바람직하며 그 때문에 파이버의 길이 L 이

$$L > (a/n_1 - n_2)$$

이면 좋다(단지, a , n_1 및 n_2 는 전술한 것과 동일하다).

다-모드 광 파이버를 전파하는 광빔의 코히어런스 길이를 m 이라고 할 때, 번들되는 복수의 광 파이버의 길이의 차가 m 이상이라면, 복수의 광 파이버로부터 출사되는 광빔은 서로 코히어런스(가간섭성)를 갖지 않는다. 따라서, 이들을 혼합(합파)할 때, 광빔의 코히어런스가 저하하고, 스펙클이 생기기 어려워진다. 따라서, 광 파이버의 길이와 파이버의 갯수, 그리고 광원의 코히어런스 길이를 적절하게 선택하고 설계함으로써 필요 충분히 스펙클을 억압할 수 있다.

여기서, 주의하여야 할 것은 전파 중의 광 강도의 손실이다. 그러나, 현재 플라스틱 파이버인 경우에 그 전송 손실은 파장 $500\text{nm} \sim 550\text{nm}$ 의 광빔에 대해 약 0.1dB/m 정도로 최소이다. 즉, 1m , 5m , 10m , 50m 에서 각각 97.7% , 89.1% , 79.4% , 및 31.6% 의 내부 투과율이 된다. 따라서, 본 발명의 조명 방법 또는 그 장치의 응용 용도(예를 들면, 표시 장치, 계측 장치, 현미경, 노광 장치 등)에 대해서는 충분히 허용할 수 있는 정도이다.

상술한 자외선 도파용 중공 광 파이버도 현재는 그 투과율이 비교적 낮지만, 장래적으로는 충분한 투과 효율을 갖는 것이 기대된다. 한편, 각종 레이저 자신의 출력의 향상에 의해서도 응용 용도에 의해서는 충분한 출사광을 얻을 수 있다고 생각된다.

게다가, 본 발명의 제1 조명 방법 및 제1 조명 장치에서, 광원으로부터 출사되는 광빔을 가시광 파장 영역의 레이저 광으로 하고, 피조명체로서 필름 또는 공간 변조기를 조명할 수 있다. 그러나, 예를 들면, 자외광 파장 영역의 레이저 광을 이용하고, 단파장 레이저 광에 의한 노광 장치의

조명 광원으로서 이용하는 것도 가능하다.

광빔은 반도체 레이저로부터 출사된 레이저 광 또는 고체 레이저(예를 들면, Nd : YAG 등)로부터 출사된 레이저 광의 비선형 파장 변환에 의한 레이저 광으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, 기체 레이저나 색소 레이저와 같은 그 외의 임의의 레이저 광원(또는 그 고조파)을 적절하게 사용할 수 있다.

또한, 본 발명의 제1 조명 방법 및 제1 조명 장치에서, 광원의 갯수를 1개로 하고, 이 광원으로부터 출사된 광빔을 복수로 분할할 수 있다. 즉, 상기 N=1 및 상기 M≥2로 하는 것이 바람직하다. 또한, 광원의 갯수를 여러개로 하고, 이들의 광원으로부터 출사된 광빔을 복수로 분할하는 것이 더 바람직하다. 즉, 상기 N≥2 및 상기 M≥2로 하는 것이 또한 바람직하다.

특히, 스펙클의 콘트라스트를 약 10% 정도까지 저감시키기 위해서는, M 또는 N을 100 이상으로 하는 것이 바람직하다. 또한, M 또는 N이 100 이상이라도 좋지만, M×N의 수가 100 이상이면 좋다. 또한, 스펙클의 콘트라스트를 약 5%정도까지 저감시키기 위해서, M 또는 N을 400 이상으로 하는 것이 바람직하다. 이 경우도, M 또는 N이 각각 400 이상이라도 좋지만, M×N의 수가 400 이상이면 좋다.

본 발명의 제1 조명 방법 및 제1 조명 장치에서, 가간섭성이 저감한 광빔은 표시 장치, 계측 장치, 현미경 또는 노광 장치에 이용하는 조명용 광빔으로서 이용하는 것이 바람직하다. 즉, 가간섭성이 저감한 광빔으로서 여러가지 조명 용도로 사용할 수 있다.

다음, 본 발명의 제2 조명 방법 및 제2 조명 장치를 설명할 것이다.

본 발명의 제2 조명 방법 및 제2 조명 장치에서, 광원으로부터 출사되는 광빔에 대해서, 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반값 전폭을 $\Delta\lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W, 파수의 스펙트럼을 S(k)로 하면 하기 수학적식 43,

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta k}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

가 성립하고 있는 것이 바람직하다.

또한, 하기 수학적식 44,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_2)^2} \geq 2$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 N'을 설정하는 것이 바람직하다. 이와 같이 설정함으로써, 스펙클의 콘트라스트를 더 5% 이하로 억제할 수 있다.

게다가, 광원으로부터 출사되는 광빔을 가시광 파장 영역의 레이저 광으로 하고, 피조명체로서의 필름 또는 공간 변조기를 조명하는 것이 바람직하다. 그러나, 예를 들면, 자외광 파장 영역의 레이저 광을 이용하여 단파장 레이저 광에 의한 노광 장치의 조명 광원으로서 이용하는 것도 가능하다.

또한, 광빔은 반도체 레이저로부터 출사된 레이저 광, 또는 고체 레이저로부터 출사된 레이저 광의 비선형 파장 변환에 의한 레이저 광으로 하는 것이 바람직하다. 그러나, 기체 레이저 또는 색소 레이저와 같은 그 외의 임의의 레이저 광원을 적절하게 사용할 수 있다.

스펙클의 콘트라스트를 10% 이하로 억제한다고 하는 점에서, N'는 100 이상으로 하는 것이 바람직하다. 스펙클의 콘트라스트를 5% 이하로 억제한다고 하는 점에서는, N'를 400 이상으로 하는 것이 바람직하다.

또한, 본 발명의 제2 조명 방법 및 제2 조명 장치에서, 가간섭성이 저감한 광빔을 표시 장치, 계측 장치, 현미경 또는 노광 장치에 이용하는 조명용 광빔으로서 이용하는 것이 바람직하다. 즉, 가간섭성이 저감한 광빔으로서, 여러가지 조명 용도로 사용할 수 있다.

이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 설명할 것이다.

[제1 실시예(파이버 번들을 이용한 경우)]

우선, 길이가 다른 복수의 광 파이버를 이용하여 1개의 광원으로부터 출사된 레이저 광에 광로 길이차를 주는 경우에 대해서 설명한다(N=1, M≥2).

도 7a에 도시한 바와 같이, 각각의 광 파이버에 입사하는 광빔의 코히어런트 길이 이상으로 길이가 다른 복수의 다-모드 광 파이버(2a, 2b, 2c, 2d...)의 입사단(입사측 파이버 번들부: 3)과 출사단(출사측 파이버 번들부: 4)을 전부 가지런하게 하고, 이것을 묶음으로써 광 파이버군으로 이루어지는 번들 파이버(1)를 구성한다.

특히, 그 입사측 파이버 번들부(3) 및 출사측 파이버 번들부(4)에서 그 묶는 방법은 도 7b에 도시한 바와 같이, 가능한 한 근접한 것이 출사되는(또는 입사되는) 레이저 광의 결합(커플링) 효율의

점에서부터 바람직하다. 대칭성을 고려할 때, 정육각 형태를 구성하는 배치, 결정 구조로 하는 육방 최밀 충전 구조를 취하는 것이 가장 유리하다.

각각의 다-모드 광 파이버(2)는 굴절율이 큰 코어(5)와 비교적 굴절율의 작은 클래드(6)로 이루어지는 2중 구조를 갖고 있으며, 번들 파이버(1)에서 파이버들의 길이는 서로 다르다. 이 길이의 차는 번들 파이버(1)에 입사하는 코히어런트 광의 코히어런스 길이 이상이면 좋으며, 적어도 2개의 광 파이버가 각각 코히어런스 길이 이상의 길이의 차를 갖고 있으면 좋다. 그러나, 번들하는 모든 광 파이버의 길이가 각각 코히어런스 길이 이상의 차를 갖고 있는 것이 바람직하다.

이와 같이 길이가 다른 복수의 광 파이버를 번들하는 방법으로서도 도 7a에 도시한 바와 같이, 각각의 광 파이버 중 어느 하나를 다른 파이버보다도 전기 코히어런스 길이 이상의 길이분 만큼 길어지도록 곡선형으로 절첩하여 좋다. 이 절첩부(8)를 설치하여도, 번들 파이버(1)의 광 입사부와 광출사부는 각 파이버 간에서 공통 또는 동일 위치가 되고 있다. 이와 같이 광 파이버를 이용할 때, 절첩 등에 의해 주위 공간을 유효하게 이용하여 상기한 길이의 차를 간이하고 또한 조밀하게 실현할 수 있다. 이러한 파이버 형상은 도 7a에 도시한 것에 한정되지 않으며 광 파이버의 절곡부의 곡률의 크기를 이용하여 임의의 형상으로 구성할 수 있다.

따라서, 도 7a에 도시한 번들 파이버(1)에서, 복수의 광 파이버가 번들된 입사측 파이버 번들부(3)에 입사하는 코히어런트인 레이저 광 α 는 번들 파이버(1)를 통하여 분할되며, 코히어런스가 저감된 광 파이버, 이상적으로는 인코히어런트인 광빔으로서 출사단(4)으로부터 출사된다.

즉, 입사측 파이버 번들부(3)에 입사한 레이저 광 α 는 각각의 다-모드 광 파이버(2a, 2b, 2c, 2d ...)에 동일 또는 거의 동일한 강도를 갖고서 입사하고, 각각의 다-모드 광 파이버 중에서 모드 분산에 의해 시간적 코히어런스, 공간적 코히어런스가 저감된 레이저 광(a), (b), (c), (d) ...로서 출사된다.

각 다-모드 광 파이버는 각각 코히어런스 길이 이상의 길이의 차를 갖고 있으므로, 각 다-모드 광 파이버의 출사측 파이버 번들부(4)로부터 출사되는 레이저 광(a), (b), (c), (d) ...는 전기 코히어런스 길이 이상의 길이의 차에 대응하는 위상차를 갖고 있다. 각각의 광 파이버로부터 출사되는 레이저 광은 서로 가간섭성을 갖지 않으며, 이들의 각 레이저 광이 합파되면 강도가 크게 지향성에 우수함과 동시에, 코히어런스가 저감한 실질적으로 인코히어런트인 광빔이 된다.

따라서, 코히어런트인 레이저 광은 상술한 바와 같은 간편한 구성의 번들 파이버를 통하여 전파됨으로써, 실질적으로 인코히어런트인 광빔으로 변환되며, 특히 상술한 디스플레이, 계측 장치, 현미경, 노광 장치 등의 조명광으로서 이용할 수 있게 된다. 또한, 광 파이버(번들 파이버)를 통한 코히어런스 저감으로, 코히어런스 저감 효과가 충분함에 있어서 또한 강도 분포가 균일하며, 광학 손실이 적다.

다음, 도 7a 및 도 7b에 도시한 번들 파이버를 이용한 표시 장치(레이저 디스플레이)를 도 8에 도시할 것이다.

도 8에 도시한 표시 장치에서, 우선 레이저 공진기(10)로부터 출사된 레이저 광은 렌즈(11)에 입사한다. 다음, 렌즈(11)에 의해서 집광된 레이저 광이 전술한 것과 유사하게 번들 파이버(12)의 입사측 파이버 번들부에 입사된다.

번들 파이버(12) 및 광 파이버(13)를 통하여 출사된 레이저 광은 렌즈(14)를 통하여, 예를 들면 투과형의 액정 표시 소자로 이루어지는 공간 변조기(투과형 라이트 밸브)를 조명한다. 또한, 광 파이버(13)는 번들 파이버(12)를 묶은 것이어도 좋으며, 번들 파이버(12)와 커플링된 다른 광 파이버라도 좋다.

렌즈(14)로부터 고강도의 조명광에 의해서, 공간 변조기(15)에 의한 상이 투영 렌즈(16)를 통하여 스크린(17)에 고휘도, 고정밀하고 또한 콘트라스트 좋게 투영된다.

이와 같이, 공간 변조기(15)를 조명하는 조명광은 먼저 진술한 효과에 의해 코히어런스가 저감되고 있으므로, 스크린 또는 이것을 관찰하는 관찰자의 망막 중 어느 하나에서도 스펙클이 저감되고 있다.

여기서, 레이저 공진기(10)로서, 고체 레이저, 반도체 레이저, 기체 레이저, 색소 레이저 등을 사용할 수 있으며 또한 이들의 고조파(예를 들면, Nd : YAG 레이저의 제2 고조파나 제5 고조파 등)를 이용할 수 있다. 또한, 3원색의 광을 얻기 위해서, 레이저 이외의 LED나 램프와 같은 광원을 레이저와 겸하여 이용할 수도 있다. 또한, 광원은 하나일 필요는 없으며 여러 개라도 좋다. 이에 의해서, 저출력이라도 효율이 높고 취급이 용이한 반도체 레이저를 이용하는 것이 가능해진다. 그 경우, 복수의 레이저 광을 합파할 때에, 도 7a 및 도 7b에 도시한 바와 같은 번들 파이버를 이용하면 좋다.

[제2 실시예]

본 실시예에는 표시 장치 등에 이용하는 삼원색의 조명광을 얻을 목적으로, 적색 파장 영역의 레이저 광을 발진 가능한 반도체 레이저와, 녹색 파장 영역의 레이저 광을 발진 가능한 반도체 레이저와, 청색 파장 영역의 레이저 광을 발진 가능한 반도체 레이저를 이용한 조명용 광빔의 광원부 구성을 나타내는 것이다.

즉, 도 9에 도시한 바와 같이, 적색(R) 발진의 반도체 레이저(21a), 녹색(G) 발진의 반도체 레이저(21b) 및 청색(B) 발진의 반도체 레이저(21c) 각각의 반도체 레이저로부터 출사된 레이저 광을 렌즈(22a, 22b, 22c)를 통하여, 본 발명에 기초하는 번들 파이버(23a, 23b, 23c)에 유도하고, 각 색의 레이저 광을 번들 파이버로 커플링할 수 있다($N=1, M \geq 2$).

이와 같이, 삼원색을 얻을 목적으로, 적, 녹 및 청색 발진의 반도체 레이저를 이용하고, 각 반도체

체 레이저로부터의 출사광빔을 번들 파이버를 통해 도파함으로써 코히어런스가 저감함과 동시에 지향성이 높고 또한 강도가 큰 조명광으로서 이용할 수 있다.

도 10은 본 실시예에 기초하여, 보다 큰 강도로 또한 코히어런스의 저감한 조명광을 얻을 목적으로 한 조명 장치이다($N=3, M \geq 2$).

도 10에 도시한 바와 같이, 적색 반도체 레이저(25a, 25b, 25c)로부터의 적색 레이저 광을 렌즈(22)를 통하여, 번들 파이버(26a, 26b, 26c)에 각각 유도하고 이들의 번들 파이버를 더 커플링함으로써 파이버 다발(27a)에서 보다 큰 강도의 적색 레이저 광을 전파시킬 수 있다. 물론, 마찬가지로 하여 녹색 레이저 광, 청색 레이저 광을 전파할 수 있다.

적색 레이저 광을 전파하는 파이버(27a), 녹색 레이저 광을 전파하는 파이버(27b), 청색 레이저 광을 전파하는 파이버(27c)를 또한 번들함으로써 파이버(28)에서 보다 강도의 큰 삼원색의 레이저 광을 전파시킬 수 있다. 물론, 각 색을 발진하는 반도체 레이저의 수는 3개로 한정되는 것은 아니고, 임의의 여러개를 사용할 수 있다. 또한, 절첩부를 갖는 번들 파이버는 번들 파이버(26a, 26b, 26c)의 위치에 한정되는 것은 아니고 파이버(27a, 27b, 27c) 혹은 파이버(28)의 위치에 있어도 좋다.

[제3 실시예]

본 실시예는 편광 상태가 다른 레이저 광을 이용한 조명용 광빔의 광원부 구성을 나타내는 것이다.

도 11은 P 편광을 발진하는 반도체 레이저(32a), S 편광을 발진하는 반도체 레이저(32b), 렌즈(33a 및 33b), 미러(34) 및 편광빔 분할기(35)로 이루어지는 레이저 커플러 유닛(31), 및 렌즈(36)를 이용하여 P 편광의 레이저 광과 S 편광의 레이저 광을 번들 파이버(37)에 합파하게 하는 광원부 구성의 주요부 개략도이다. 이와 같이 편광빔 분할기를 사용할 때, 효율적으로 고강도의 레이저 광을 유도할 수 있다($N=2, M \geq 2$).

도 6은 기본적으로는 도 11과 마찬가지로, 편광 상태가 다른 레이저 광을 이용한 조명 장치를 도시한다. 적색(R) 레이저 광을 발진 가능한 레이저 커플러 유닛(31a)으로부터 출사되는 적색 레이저 광을 렌즈(36a)를 통하여 번들 파이버(37a)에 합파하게 하고, 마찬가지로 녹색(G) 레이저 광을 발진 가능한 레이저 커플러 유닛(31b)으로부터 출사되는 녹색 레이저 광, 청색(B) 레이저 광을 발진 가능한 레이저 커플러 유닛(31c)으로부터 출사되는 청색 레이저 광을 각각 렌즈(36b, 36c)를 통하여 번들 파이버(37b, 37c)에 입사되며, 각 번들 파이버를 묶은 예이다($N=2, M \geq 2$).

부수적으로, 도 9 내지 도 12에 도시한 제2 실시예 및 제3 실시예는 다른 발진 파장 영역을 갖는 반도체 레이저로부터의 출사광을 하나의 번들 파이버에 유도하는 예를 도시한다. 그러나, 이 외에 삼원색의 광을 제공하기 위해서는 몇개의 방법이 생각된다.

제1 방법은 광원의 변조이다. 즉, 각 색의 레이저 광을 주기적으로 발진시키고, 그 주기마다 공간 변조기에 의해서 공간적인 색분해(변조)를 행함으로써, 컬러 상이 얻어진다.

제2 방법은 색필터를 이용한 공간 변조이다. 즉, 각 색 공간 변조기가 픽셀마다 특정한 색만을 통과시키는 필터를 갖고 있으면, 이에 의해서 공간적 변조기에 의한 컬러 상이 얻어진다. 또한, 삼원색의 합성은 하기 제4 실시예에 나타난 바와 같이, 공간 변조기의 부분으로 행할 수도 있게 된다.

[제4 실시예]

본 실시예는 예를 들면 반사형 액정 표시 소자 등의 반사형 공간 변조기를 이용하고, 이 공간 변조기의 부분으로 삼원색의 합성을 행한 후, 도시는 생략하지만 도 7a 및 도 7b에 도시한 바와 같은 번들 파이버에 유도하는 표시 장치의 구성예이다.

도 13에 도시한 바와 같이, 전술한 방법을 이용하여, 반사형 공간 변조기(40)와 빔 분할기(41)로 이루어지는 유닛(42)에 도시는 생략한 번들 파이버를 통하여 조명광을 조사함으로써, 삼원색을 하나의 공간 변조기(유닛)로 변조할 수 있다. 여기서, 빔 분할기(41)를 편광빔 분할기로 대체하여, 공간 변조기 자체 또는 그 광로 상에 파장판을 배치하여 변조 효율을 높일 수도 있다($N=1, M \geq 2$).

도 14는 도 13에 도시한 유닛을 각 색마다 이용하여 즉 도시는 생략한 번들 파이버를 통한 조명광을 적색 공간 변조기 유닛(42a), 녹색 공간 변조기 유닛(42b) 및 청색 공간 변조기 유닛(42c)에 유도하여 공간 변조 후에 다이클로익 미러(43)를 이용하여 합파하는 예이다($N=1, M \geq 2$).

본 실시예에서는 반사형의 공간 변조기(반사형 라이트 밸브)에 대해서 전술했지만, 투과형의 공간 변조기(예를 들면, 투과형 액정 표시 소자)에 대해서도 마찬가지로 구성할 수 있다. 반사형의 공간 변조기로서 디지털 마이크로 미러 등을 사용하여도 좋다.

제1 실시예 내지 제4 실시예에서, 주로 표시 장치(디스플레이)용 조명 방법 및 조명 장치에 대해서 전술하였지만, 본 발명은 이들의 실시예에 한정되는 것은 아니고 여러가지의 응용을 생각할 수 있다.

다음, 본 발명에 따라서 광빔을 분할하고 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 주는 번들 파이버로부터의 조명광을 계측 장치나 현미경의 광원으로 하는 예를 설명할 것이다.

또한, 도시는 생략하지만 다-모드 번들 파이버로서 중공 다-모드 광 파이버를 이용하면 자외 영역의 레이저 광으로의 응용도 가능하다. 이것을 이용하면, 예를 들어 반도체 등의 제조 프로세스에서의 자외선 노광 장치가 실현된다. 또한, 이들은 전술한 공간 변조기 및 스크린을 예를 들면 현미경이면 샘플(피관찰 물체) 및 인간의 망막(혹은 CCD 등)으로 대체함으로써 또한 계측 장치이면, 피계측 물체 및 화상 입력 장치, 노광 장치이면 마스크 및 노광 물체로 대체함으로써 용이하게 실

현된다.

[제5 실시예]

본 실시예는 본 발명을 계측 장치에 적용한 예이다.

즉, 도 15에 도시한 바와 같이, 번들 파이버(45)로부터 출사되며, 가간섭성이 저감한 조명광 "a"를 피계측면(47)을 갖는 계측 대상(46)으로 투사한다. 피계측면(47)으로써 반사된 광빔 b를 관찰 광학계(48)를 통하여 수광기(49)로 검출할 때, 그 표면성(표면 조도 등)을 계측할 수 있다.

여기서, 계측 대상 물체가 갖는 투과율이나 반사율과 같은 분광 특성에 특징이 있으면, 그에 적절한 파장의 광을 사용하는 것이 유효하다. 예를 들면, FA(팩토리 자동화)에서의 선별 기계 등으로 특정한 색을 갖는 물체를 인식하기 위해서는, 특정한 파장을 갖는 레이저 광을 조사하고, 그 외의 색의 물체와의 반사율이 다르므로써 그 인식이 용이해진다. 땀납 검사기에서, 기관의 반사율로부터 녹색 파장 영역의 조명광이 가장 유효하다. 이것도 녹색 파장 대역의 반도체 레이저를 사용함으로써 실현될 수 있다. 또한, 본 발명의 방법에 따르면, 그 검사에서의 정밀도가 한층 더 향상한다.

즉, 이들의 검사 공정에서, 스펙클은 노이즈 요인이 되므로 본 발명에 기초하여 가간섭성을 저감 시킴으로서 정밀도의 향상이 도모된다. 관찰 광학계(48)에 특정한 파장 필터를 가할 때, 외란 광으로부터의 영향을 받지 않고 한층 더 정밀도의 향상이 가능해진다.

또한, 여기에서 조명광의 반사광뿐만 아니라 조명광에 의한 투과광이나 형광을 관찰하는 것도 생각된다. 이 경우도 조명광의 스펙클을 감하는 것은 노이즈의 억압으로 이어진다.

[제6 실시예]

본 실시예는 본 발명에 기초하는 번들 파이버를 노광 장치나 현미경 등의 광학 기기에 이용한 예이다.

즉, 도 16에 도시한 바와 같이, 번들 파이버(51)로부터의 출사광빔을 컨덴서 렌즈(52)를 통하여, 피조명 물체(53)에 대하여 케일러 조명 혹은 크리티컬 조명하고, 대물 렌즈(54)를 이용하여 조명된 피조명 물체(53)의 상(55)을 결상한다. 여기서 상면을 관찰한다면, 현미경이 된다. 피조명 물체(53)의 상을 레지스트나 필름 등에 노광(또는 기록)한다면 노광 장치가 된다. 또한, 도면 중 화살표로 나타낸 바와 같이 대물 렌즈(54)는 적절하게 이동할 수 있다.

여기서, 상술한 제5 실시예와 마찬가지로, 피조명 물체가 갖는 투과율이나 반사율 등의 분광 특성에 특징이 있으면, 그에 적절한 파장의 광을 사용하는 것이 유효하다. 예를 들면, 피노광 재료가 되는 레지스트나 필름이 특정한 파장에 대하여 감도가 높다면, 그 파장으로 노광하는 것이 유효하다. 이것은 특정한 발진 파장 대역을 갖는 파장폭이 좁은 레이저를 이용한다면 가능해진다. 본 발명에 기초하는 방법으로, 그 레이저 광을 저코히어런트화하고, 스펙클을 제거할 때, 콘트라스트에 우수한 노광 처리를 실현된다.

일례로서, 영화 필름으로의 디지털 음성 트랙의 기록에는 녹색 파장 대역의 광빔을 이용하는 것이 유효하지만, 본 발명에 기초하는 수법을 이용하면 이것이 간편하게 실현된다. 또한, 다른 예로서는 중공 도파로를 파이버로 대체하여 엑시머 레이저나 고체 레이저의 고조파 등의 자외 레이저 광을 이용한 노광 장치가 생각된다. 이것은 스펙클을 억압할 수 있을뿐만 아니라, 조도 분포라도 균일화할 수 있으므로 장치가 염가 또한 간편하고 성능이 우수하게 된다.

현미경을 구성하는 경우, 단일 파장으로 스펙클의 생기지 않는 현미경을 실현할 수 있다. 따라서, 샘플에 의한 반사율 혹은 투과율의 특성을 이용하여 분광 혹은 형광 현미경을 구성할 수 있다. 이것은 의용이나 생체용뿐만 아니라 반도체 등의 프로세스 검사 등 폭넓은 응용이 생각된다.

또한, 이 예에서도 조명의 반사광뿐만 아니라 투과광이나 형광을 이용하는 것도 생각된다. 이 경우도, 조명광의 스펙클을 감하는 것은 노이즈의 억압으로 이어진다.

[제7 실시예]

본 실시예는 본 발명에 기초하는 조명 방법을 이용한 계측 장치의 예이다.

제6 실시예에서 나타낸 계측 장치 이외의 계측 장치의 예에서는 최근 주목을 받고 있는 저코히어런트 간섭계 등의 간섭계 용도가 생각된다. 도 17a에 그 구성예를 나타낸다.

즉, 번들 파이버(60)로부터의 광빔을 콜리메이터 렌즈(61)로 평행광으로 하여 빔 분할기(62)로 그 파면을 분할한다. 한쪽의 광빔(투과광)은 참조 거울(63 : 빔 분할기로부터의 거리가 L)로 향하여, 다른쪽의 광빔(반사광)은 피검측으로 향한다.

여기서, 다-모드 번들 파이버의 출사광의 코히어런스 길이가 "a" 이하인 경우, 피검측의 미러가 빔 분할기로부터의 거리가 L-a의 위치에 있는 미러(64b) 또는 빔 분할기로부터의 거리가 L+a의 위치에 있는 미러(64c)일 때는 간섭 줄무늬가 거의 생기지 않는다. 이에 대하여, 미러(64a)와 같이 미러가 빔 분할기로부터의 거리가 L의 위치에 있을 때만 간섭 줄무늬(스펙클 패턴)가 생긴다.

여기서, 미러(64a, 64b, 64c) 대신에, 도 17b에 도시한 바와 같은 삼차원 형상을 갖는 샘플(66) 또는 도 17c에 도시한 바와 같은 생체 샘플(67)을 놓을 때, 이것에서부터의 반사광을 간섭광으로서 관찰하면, 각 샘플의 삼차원 형상을 둥글게 자른 상태로 관찰할 수 있다. 이 간섭 줄무늬의 콘트라스트를 계측할 때, 측정기로서 이용할 수도 있게 된다.

또한, 다-모드 번들 파이버의 길이 등에 의해서 코히어런트 길이를 설계하면 여러가지 용도로 응용하는 것도 가능하다. 여기서도, 코히어런스의 저감에 의한 스펙클의 억압은 관찰 시나 측정 시

의 노이즈를 현저하게 저감하는 것에 관해서 정밀도나 성능의 향상을 기대할 수 있다.

[제8 실시예]

다음, 도 18을 참조하여 광원의 갯수가 1개의 예를 설명할 것이다($M=1, N \geq 2$)

본 실시예에 따르면, 반도체 레이저를 평면적으로 나란히 한 것 반도체 레이저 어레이 또는 수직 공진기면 발광 레이저(VCSEL)로 이루어지는 광원(101)으로부터 발진된 레이저 광을 평면적으로 나란히 한 렌즈 혹은 마이크로 어레이 렌즈(102)를 통하여 유사적인 평행 광속으로 하고, 이것을 1개의 렌즈(103)로 다-모드 광 파이버(104)에 집광한다. 그리고, 다-모드 광 파이버(104)에 의해서 균일해진 광을 렌즈(105)로 피조명 물체로서의 스크린(106) 상에 투사한다.

이 경우, 분할수가 1개($M=1$, 즉 분할을 행하지 않음)이므로, 각 레이저의 파장폭 W 에 대하여 스펙클의 콘트라스트가 충분하게 떨어지도록 많은 광원을 이용하는 것이 바람직하다(즉, 충분히 큰 N).

여기서, 광로 길이의 흔들림의 표준 편차(즉, 스크린 거칠기의 표준 편차의 2배) σ_z 가, $1\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$, 파장 λ 가 650nm , 550nm , 450nm 의 경우에, 1개의 광원에 의한 스펙클이 파장폭의 변화에 대하여 어떻게 변화하는지를 도 19에 도시한다.

도 19에서부터, 광로 길이의 흔들림의 표준 편차 σ_z 및 레이저 광의 파장 λ 가 동일한 경우, 레이저 광의 파장폭 $\Delta\lambda$ 이 커질수록 스펙클의 콘트라스트가 저하하는 경향에 있는 것을 알 수 있다. 또한, 광로 길이의 흔들림의 표준 편차 σ_z 가 동일한 경우, 레이저 광의 파장이 짧을수록 스펙클의 콘트라스트가 저하하기 쉽고 또한 레이저 광의 파장이 동일한 경우, 광로 길이의 흔들림의 표준 편차 σ_z 가 클수록 스펙클의 콘트라스트가 저하하는 경향에 있는 것을 알 수 있다.

또한, 마찬가지로의 경우에 대해서, 스펙클의 콘트라스트를 10%, 5%로 각각 떨어뜨리기 위해서 필요한 레이저 광원의 갯수를 고려한 결과를 도 20 및 도 21에 도시한다.

즉, 전형적인 값으로서 스크린의 거칠기의 표준 편차가 약 $10\mu\text{m}$ 의 오더, 광원으로서 수 nm 정도의 반값 전폭의 반도체 레이저를 이용한 경우, 도 20에서부터 광원의 갯수를 약 100개로 함으로서, 가시 파장 영역의 광빔의 스펙클의 콘트라스트를 10%(이것은 인간의 눈으로 충분히 허용할 수 있는 범위임)에까지 저감시킬 수 있는 것을 알 수 있다. 또한, 도 21에서부터 광원의 갯수를 400개 정도로 함으로서 스펙클의 콘트라스트를 5%까지 저감할 수 있는 것을 알 수 있다.

이상 기술한 바와 같이, 본 실시예에 따르면, 간편하며 염가 또한 고성능인 코히어런트 제어를 각종 레이저에 대하여 특히 스펙클의 억제된 물체 조명용 광원으로서 본 발명을 적용할 수 있으며 더욱 상기 광 파이버로 하여 다-모드 파이버를 이용하면, 공간적인 모드가 중합에 의해 조명 강도의 균일화와 동시에 간편하고 또한 저비용, 공간 절약(즉, 스페이스 상의 제약을 받지 않고), 코히어런스의 저감을 달성할 수 있다. 또한, 디스플레이, 계측 장치, 현미경, 노광 장치 등을 특히 광전 변환 효율이 높은 반도체 레이저 등을 이용하여 구성할 수 있다. 이에 의해서, 장치의 고성능화, 소형화, 저비용화를 꾀할 수 있다.

이상, 본 발명을 바람직한 실시예에 대해서 설명하였지만, 본 발명은 이들의 실시예에 한정되는 것은 아니다.

예를 들면, 제1 실시예 등으로 이용한 광 파이버군(또는 번들 파이버)에서의 광(코히어런트광)의 입사 위치는 상기 각 광 파이버 간에서 동일 혹은 거의 동일한 것이 바람직하며 또한 상기 광 파이버군은 광 입사 위치로, 가능한 한 밀하게 묶여져 있는 것이 바람직하다.

복수의 광 파이버 중 어느 하나를 구부릴 때, 이들의 광 파이버의 길이를 상기 코히어런트광의 코히어런스 길이 이상으로 길이를 서로 다르게 할 수 있다. 이 굽히는 방법은 특히 한정되는 것은 아니고, 상기 길이의 조건을 만족하도록 여러가지의 형상이 선택된다. 특히, 그 투과율의 높이나 곡률 반경의 크기 등으로부터 상기 다-모드 광 파이버는 플라스틱 광 파이버 한 것이 바람직하다.

대안적으로, 광 파이버로서 중공 다-모드 광 파이버를 이용하고 또한 상기 코히어런트광을 자외 영역의 레이저 광으로 해도 좋고(즉, 상기 광원부로서 자외 영역의 레이저 광을 출사하는 레이저가 이용되고 있어서 좋으며), 이에 의해서 자외 영역의 광빔을 광원으로 하는 광학 장치(특히, 노광 장치 등)를 실현한다.

본 발명의 조명 방법 및 그 장치에서, 조명광을 이용하여 액정 소자나 마이크로 미러 등으로 이루어지는 공간 변조기를 조명하고, 그 상을 스크린 상에 투사함으로써, 스펙클이 억제되며 더욱, 고휘도, 고정밀한 표시 장치(디스플레이)가 실현된다. 또한, 이 조명광을 이용하여 피계측 물체를 조명하고 그 물체의 형상이나 반사 및/또는 투과광빔의 강도 등에서의 계측을 행함으로써, 측정 정밀도가 높은 계측 장치가 실현된다. 또한, 이 조명광을 이용한 형광 현미경 등의 현미경이 실현된다. 또한, 이 조명광(특히 자외 영역의 레이저)을 광원으로 하고, 마스크 등을 통하여 피노광 물체를 조명함으로써 콘트라스트가 높으며, 초점 심도의 큰 노광장이 얻어진다(특히 자외선 노광 장치).

발명의 효과

상기 기술한 바와 같이, 본 발명의 제1 조명 방법에 따르면, N 개(단지, N 은 1 이상의 정수이다.)의 광원으로부터 출사된 광빔을 M 분할(단지, M 은 2 이상의 정수이다.)하고, 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 이들 광빔의 광축을 다시 맞추고, 이에 따라 가간섭성의 저감한 광빔에 의해서 피조명체를 조명하는 것일 때, 상기 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을

때, 하기 수학적 식 45,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수학적 식 45에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭이다.) 로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N을 설정하므로, 예를 들면 인간의 눈에서 충분히 허용할 수 있는 범위(특히, 스펙클 콘트라스트 10%)에까지 스펙클을 저감시킬 수 있으며, 스펙클의 콘트라스트가 충분히 저감한 광빔을 조명광으로서 이용할 수 있다.

본 발명의 제1 조명 장치에 따르면, N개(단지, N은 1이상의 정수이다.)의 광원으로부터 출사된 광빔을 M 분할(단지, M은 2 이상의 정수이다.)하고, 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 이들 광빔의 광축을 다시 맞추고, 이에 따라 가간섭성이 저감한 광빔에 의해서 피조명체를 조명하는 조명 장치에서, 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학적 식 46,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수학적 식 46에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭이다.) 로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N이 설정되어 있으므로 본 발명의 제1 조명 방법을 재현성 좋게 실시할 수 있다.

본 발명의 제2 조명 방법에 따르면, N'개(단지, N'는 2 이상의 정수이다.)의 광원으로부터 출사된 광빔의 광축을 맞춘 후, 상기 광빔의 가간섭성을 저감시키고, 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 것일 때, 상기 피조명체를 결상하는 광학계에서, 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학적 식 47,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수학적 식 47에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭이다.) 로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'를 설정하므로, 예를 들면 인간의 눈에서 충분히 허용할 수 있는 범위(특히 스펙클 콘트라스트 10%)에까지 스펙클을 저감시킬 수 있으며, 스펙클의 콘트라스트가 충분히 저감한 광빔을 조명광으로서 이용할 수 있다.

본 발명의 제2 조명 장치에 따르면, N'개(단지, N'는 2 이상의 정수이다.)의 광원으로부터 출사된 광빔의 광축을 맞춘 후, 상기 광빔의 가간섭성을 저감시키고, 가간섭성의 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 조명 장치에 있어서, 상기 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학적 식 48,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수학적 식 48에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭이다.) 로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'가 설정되어 있으므로, 본 발명의 제2 조명 방법을 재현성 좋게 실시할 수 있다.

(57) 청구의 범위

청구항 1

N개(N은 1 이상의 정수임)의 광원으로부터 출사된 광빔을 M개의 광빔으로 분할(M은 2 이상의 정수임)하고, 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 각 광빔의 광축을 다시 맞추고, 이에 의해서 가간섭성(coherence)이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는, 피조명체를 결상하기 위한 광학 시스템을 사용하는 조명 방법에 있어서,

상기 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학적 식 1,

<수학적 식 1>

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

(상기 수학적 식 1에서, "W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭임)로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N을 설정하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 상기 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반값

전폭을 $\Delta \lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W , 파수의 스펙트럼을 $S(k)$ 로 하고, 하기 수학적 식 2,

<수학적 식 2>

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta k}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

를 성립시키는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 3

제1항에 있어서, 하기 수학적 식 3,

<수학적 식 3>

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 2$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 N을 설정하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 분할 후의 광빔에 대하여 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 부여하기 위해, 상기 광원으로부터 출사된 광빔을 상기 가간섭 거리 이상으로 길이가 서로 다른 복수의 광 파이버를 묶은 광 파이버군에 입사하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 광 파이버로서 다-모드(multi-mode) 광 파이버를 이용하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 광빔을 가시광 파장 영역의 레이저 광으로 하고, 상기 피조명체로서의 필름 또는 공간 변조기를 조명하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 광빔을 반도체 레이저로부터 출사된 레이저 광 혹은 고체 레이저로부터 출사된 레이저 광의 비선형 파장 변환에 의한 레이저 광으로 하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 광원의 갯수를 1개로 하고, 이 광원으로부터 출사된 광빔을 복수로 분할하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 광원의 갯수를 여러개로 하고, 이들의 광원으로부터 출사된 광빔을 복수로 분할하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 M 또는 상기 N을 100 또는 그 이상으로 하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 가간섭성이 저감한 광빔을 표시 장치, 계측 장치, 현미경 또는 노광 장치에 이용하는 조명용 광빔으로 하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 12

N개(N은 10이상의 정수임)의 광원으로부터 출사된 광빔을 M개의 광빔으로 분할(M은 2 이상의 정수임)하고, 분할 후의 광빔에 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 준 후, 각 광빔의 광축을 다시 맞추고, 이에 따라 가간섭성의 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 조명 장치에 있어서,

상기 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학적 식 4,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

("W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭임)

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N이 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 장

치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 상기 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반값 전폭을 $\Delta\lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W , 파수의 스펙트럼을 $S(k)$ 로 하고 하기 수학식 5,

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta k}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

가 성립하고 있는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 14

제12항에 있어서, 하기 수학식 6,

$$\sqrt{NM} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_x)^2} \geq 2$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 M 및 상기 N 이 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 분할 후의 광빔에 대하여 가간섭 거리 이상의 광로 길이차를 주기 위해서, 상기 광원으로부터 출사된 광빔이 상기 가간섭 거리 이상으로 길이가 서로 다른 복수의 광 파이버가 묶여진 광 파이버군에 입사되는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 광 파이버로서 다-모드광 파이버가 이용되는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 17

제12항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 광빔이 가시광 파장 영역의 레이저 광이며, 상기 피조명 물체로서의 필름 또는 공간 변조기가 조명되는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 18

제17항에 있어서, 상기 광빔이 반도체 레이저로부터 출사된 레이저 광 혹은 고체 레이저로부터 출사된 레이저 광의 비선형 파장 변환에 의한 레이저 광인 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 19

제12항에 있어서, 상기 광원의 갯수가 1개이며 이 광원으로부터 출사된 광빔이 복수로 분할되는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 20

제12항에 있어서, 상기 광원의 갯수가 여러개이며 이들의 광원으로부터 출사된 광빔이 복수로 분할되는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 21

제12항에 있어서, 상기 M 또는 상기 N 이 100 또는 그 이상이라고 되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 22

제12항에 있어서, 상기 가간섭성이 저감된 광빔이 표시 장치, 계측 장치, 현미경 또는 노광 장치에서의 조명용 광빔으로서 이용되는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 23

N' 개(N' 는 2 또는 그 이상의 정수임)의 광원으로부터 출사된 광빔의 광축을 맞춘 후, 상기 광빔의 가간섭성을 저감시키고, 이에 의해서 가간섭성이 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 것 일 때,

상기 피조명체를 결상하는 광학계에서 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까

지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학적 7,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

("W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭임)

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'를 설정하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 24

제23항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 상기 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반값 전폭을 $\Delta \lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W, 파수의 스펙트럼을 S(k)로 하여, 하기 수학적 8,

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta k}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\exp\left[-\frac{(k-k_0)^2}{2 \cdot W^2}\right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

를 성립시키는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 25

제23항에 있어서, 하기 수학적 9,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 2$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'를 설정하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 26

제23항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 광빔을 가시광 파장 영역의 레이저 광으로 하고, 상기 피조명체로서의 필름 또는 공간 변조기를 조명하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 27

제26항에 있어서, 상기 광빔을 반도체 레이저로부터 출사된 레이저 광 혹은 고체 레이저로부터 출사된 레이저 광의 비선형 파장 변환에 의한 레이저 광으로 하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 28

제23항에 있어서, 상기 N'를 100 또는 그 이상으로 하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 29

제23항에 있어서, 상기 가간섭성이 저감한 광빔을 표시 장치, 계측 장치, 현미경 또는 노광 장치에 이용하는 조명용 광빔으로 하는 것을 특징으로 하는 조명 방법.

청구항 30

N'개(단지, N'는 2 이상의 정수이다.)의 광원으로부터 출사된 광빔의 광축을 맞춘 후, 상기 광빔의 가간섭성을 저감시키고, 이에 따라 가간섭성의 저감한 광빔을 이용하여 피조명체를 조명하는 조명 장치에 있어서,

상기 피조명체를 결상하는 광학계에서, 상기 피조명체 상의 일점으로부터 그에 대응하는 상 상측까지의 광로 길이차가 σ_z 의 표준 편차를 갖을 때, 하기 수학적 10,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt[4]{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_z)^2} \geq 1$$

("W"는 상기 광원으로부터 출사된 광빔의 파수의 스펙트럼폭임)

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N'가 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 31

제30항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 상기 광빔의 중심 파장을 λ_0 , 파장 스펙트럼의 반

값 전폭을 $\Delta \lambda$, 파수의 스펙트럼폭을 W , 파수의 스펙트럼을 $S(k)$ 로 하고, 하기 수식식 11,

$$W = -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\Delta k}{\lambda_0^2}$$

$$S(k) = \frac{\text{Exp} \left[-\frac{(k - k_0)^2}{2 \cdot W^2} \right]}{\sqrt{2\pi} \cdot W}$$

이 성립하는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 32

제30항에 있어서, 하기 수식식 12,

$$\sqrt{N'} \cdot \sqrt{1 + (2 \cdot W \cdot \sigma_2)^2} \geq 2$$

로 나타내는 관계를 만족하도록 상기 N' 가 설정되어 있는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 33

제30항에 있어서, 상기 광원으로부터 출사되는 광빔이 가시광 파장 영역의 레이저 광이며, 상기 피조명체로서의 필름 또는 공간 변조기가 조명되는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 34

제30항에 있어서, 상기 광빔이 반도체 레이저로부터 출사된 레이저 광 혹은 고체 레이저로부터 출사된 레이저 광의 비선형 파장 변환에 의한 레이저 광인 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 35

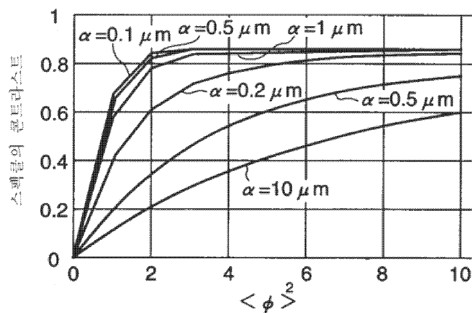
제30항에 있어서, 상기 N' 를 100 또는 그 이상으로 하는 것을 특징으로 하는 조명 장치.

청구항 36

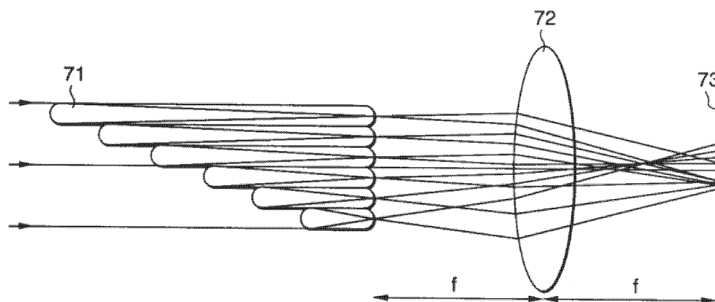
제30항에 있어서, 상기 가간섭성이 저감한 광빔이 표시 장치, 계측 장치, 현미경 또는 노광 장치에 이용하는 조명용 광빔인 것을 특징으로 하는 조명 장치.

도면

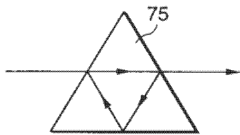
도면1



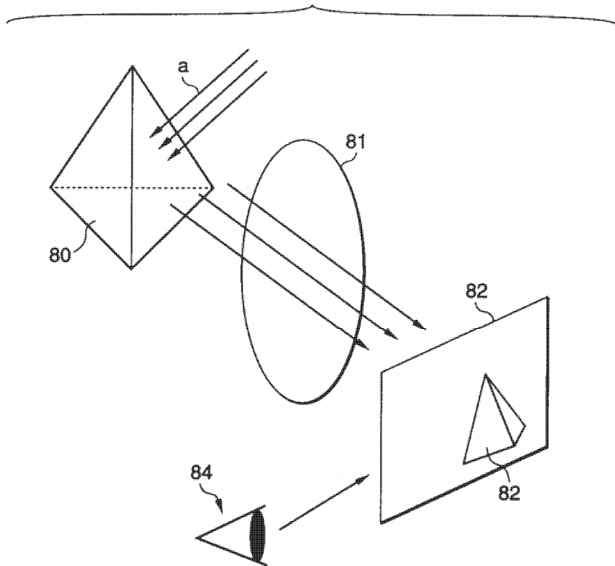
도면2



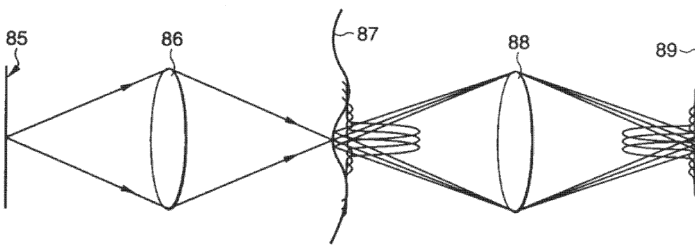
도면3



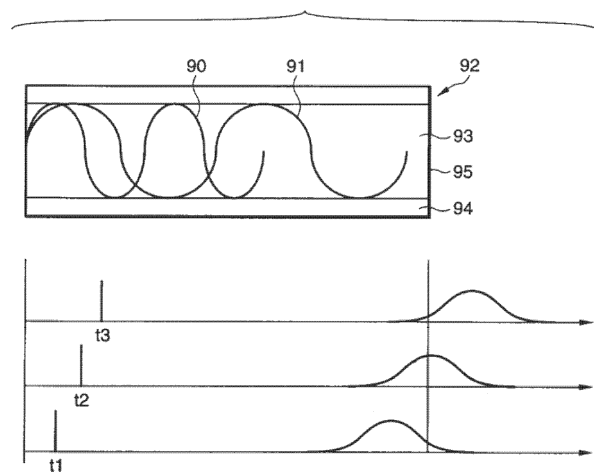
도면4



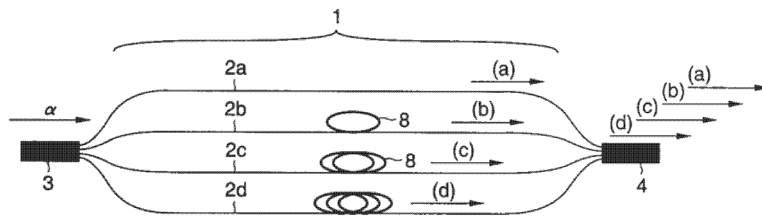
도면5



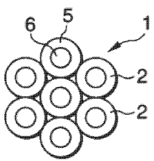
도면6



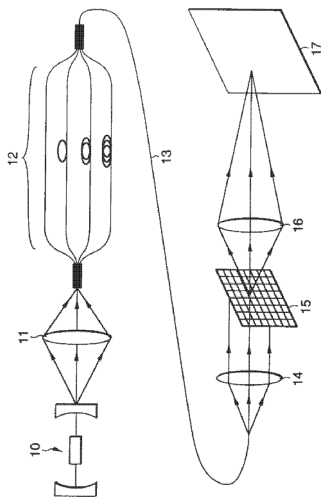
도면7a



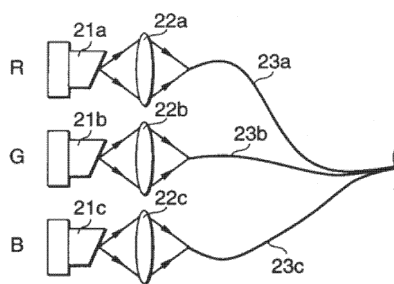
도면7b



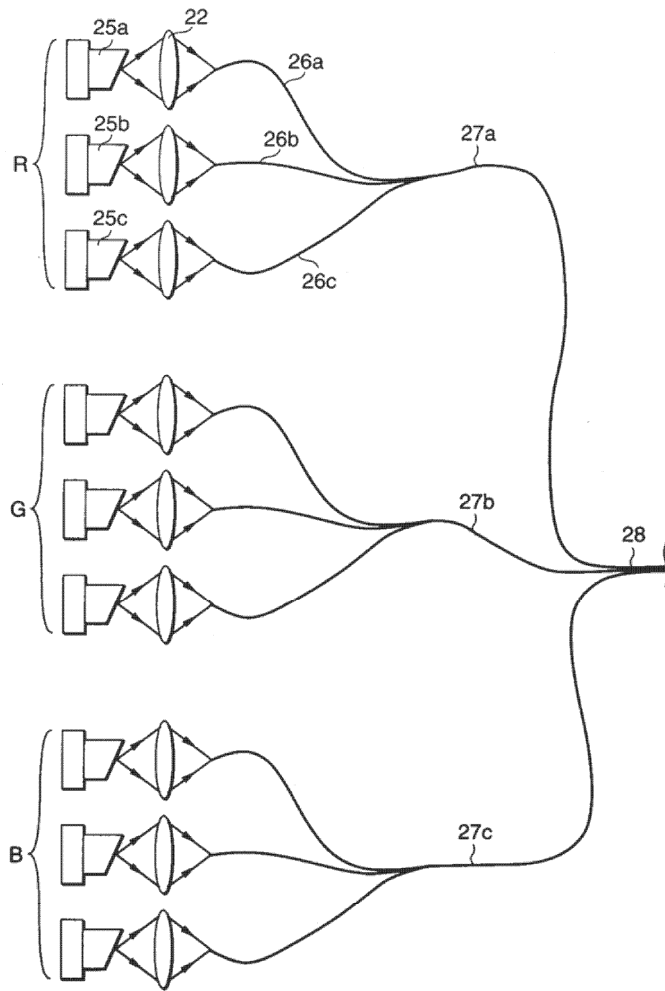
도면8



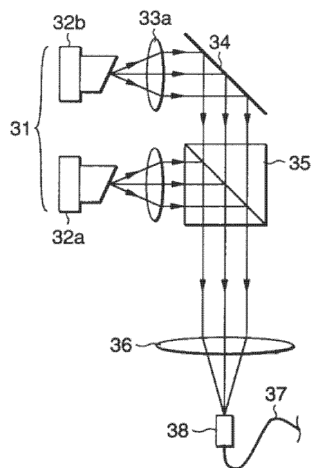
도면9



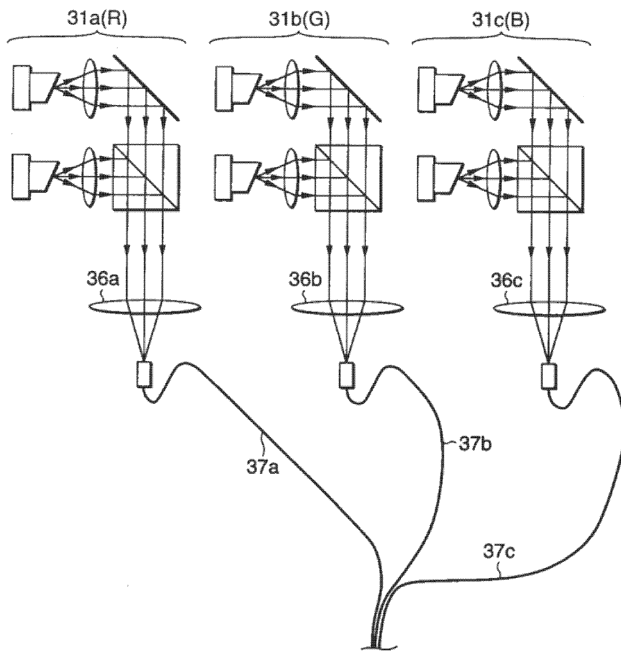
도면10



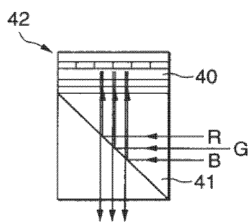
도면11



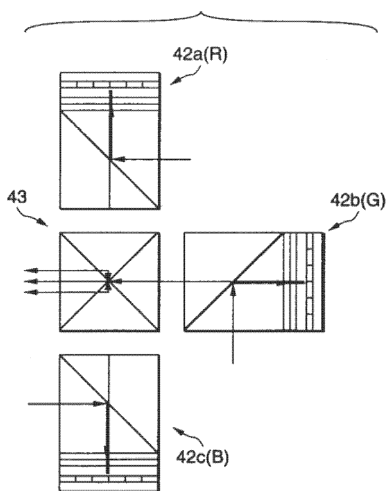
도면 12



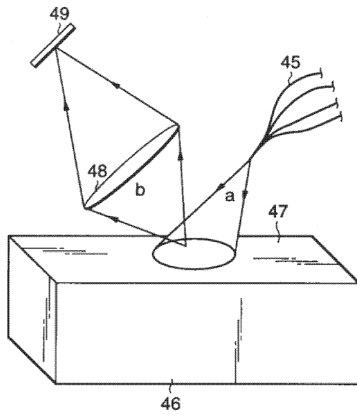
도면 13



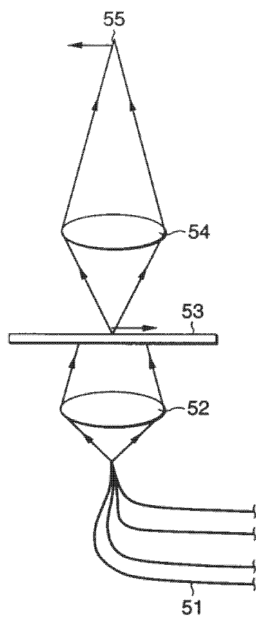
도면 14



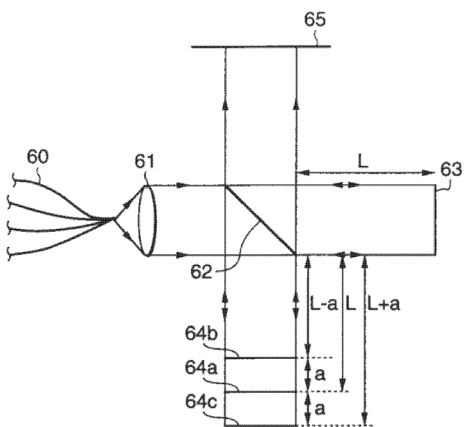
도면 15



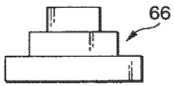
도면 16



도면 17a



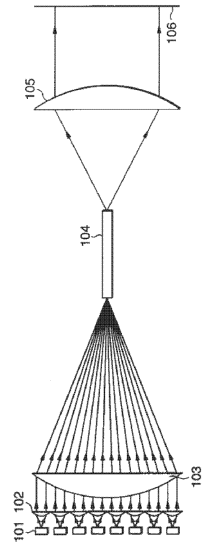
도면 17b



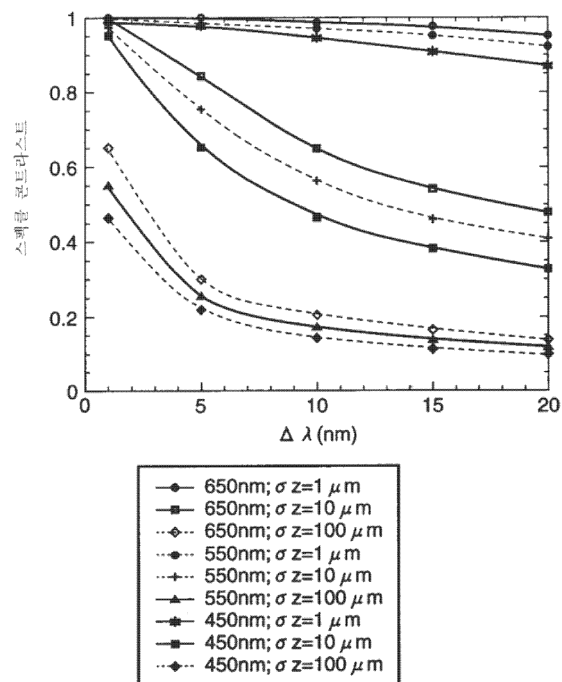
도면 17c



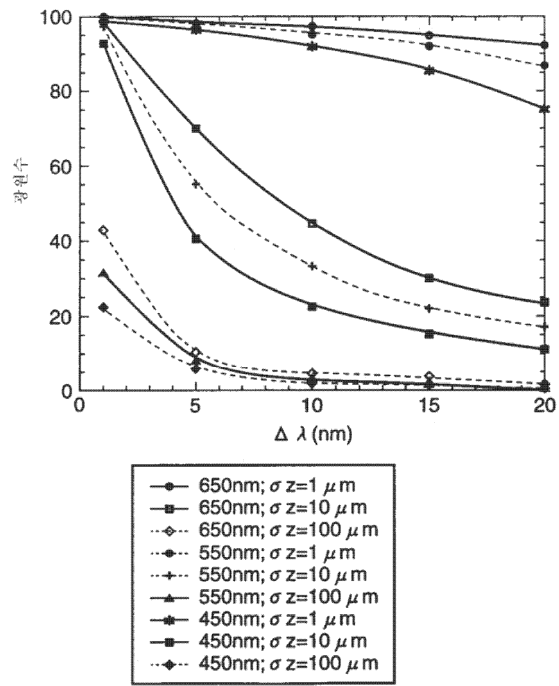
도면 18



도면 19



도면20



도면21

