

명세서

청구범위

청구항 1

소프트웨어 수단에 의해 물점들로 분할되는 장면을 재구성하기 위한 홀로그래피 디스플레이 장치로서,

상기 장면의 컴퓨터 생성 홀로그램(CGH)을 계산하여 상기 CGH를 광변조 수단에 코딩하는 시스템 제어 수단,

상기 광변조 수단에 가간섭 광을 조명하는 광원 수단, 및

뷰잉 윈도우(viewing window)에 변조 파면들의 형태로 상기 광을 변환하는 재구성 수단을 구비하고, 적어도 하나의 보는 사람(viewer) 눈은 재구성 공간에서 상기 변조 파면들에 의해 생성되어 상기 뷰잉 윈도우에서 중첩되는 상기 물점들의 홀로그래피 재구성물들을 상기 뷰잉 윈도우로부터 보는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치에 있어서,

각각의 물점(OP_n)의 상기 변조 파면들 - 상기 변조 파면들은 상기 광변조 수단에 의해 방출되는 것임 - 을 시간적 또는 공간적으로 시프트(shifting)하는 수단이 재구성 빔 경로에 마련되고, 상기 시간적 또는 공간적으로 시프트하는 수단은 각각의 재구성된 물점을 그 재구성된 물점으로 배가시키고, 상기 각각의 물점의 배가된 재구성물들은 상기 뷰잉 윈도우에서 서로 비가간섭 중첩되는 것을 특징으로 하는, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 2

제1항에 있어서, 각각의 물점(OP_n)의 상기 재구성물은 상기 광변조 수단의 광축의 방향 및 광축에 수직한 방향으로 적어도 2번 배가되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 광변조 수단(SLM)의 광축에 대해 소정의 각도로 배치되고, 상기 광축을 따라서 그리고 축 방향으로 이동될 수 있는 거울이 마련되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 광변조 수단(SLM)의 광축을 따라서 그리고 축 방향으로 이동될 수 있는 프리즘 매트릭스가 상기 광변조 수단(SLM)의 평면과 평행한 평면에 마련되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 5

제1항에 있어서, 가변 제어 가능한 프리즘 쌍이 상기 광변조 수단(SLM)과 평행한 평면에 마련되고, 상기 프리즘의 굴절 각은 적어도 2개의 값들 사이에서 높은 스위칭 주파수로 시간 순차적으로 변경되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 6

제1항에 있어서, 제어 가능한 프리즘 쌍들의 매트릭스가 상기 광변조 수단(SLM)과 평행한 평면에 마련되고, 상기 프리즘의 굴절 각은 적어도 2개의 값들 사이에서 높은 스위칭 주파수로 시간 순차적으로 가변 제어할 수 있는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 홀로그램 디스플레이 장치는 투상형(projection) 디스플레이이고, 상기 변조 파면들을 시프트하기 위한 가변 제어 가능한 프리즘이 상기 광변조 수단과 평행한 평면에 마련되고, 상기 평면은 푸리에 평면(FE)인 동시에 재구성 광학 기구의 전방 초점 면(front focal plane)인 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 8

제1항에 있어서, 편광 스위치(PU)와 조합된 마름모꼴 프리즘들의 매트릭스가 상기 광변조 수단(SLM)에 부착되는

것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 9

제8항에 있어서, 2차원 시프트를 위해, 2개의 마름모꼴 프리즘 매트릭스들과 2개의 편광 스위치들(PU)의 조합이 마련되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 10

제1항에 있어서, 이중 굴절 재료로 이뤄진 제1 광소자가 편광 스위치(PU)와 조합되어 상기 광변조 수단(SLM)의 하류에 배치되고, 이중 굴절 재료로 이뤄진 제2 광소자가 상기 편광 스위치(PU)를 뒤따르는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 11

제8항 또는 제10항에 있어서, 상기 편광 스위치(PU)는 능동 또는 수동 소자인 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 12

제1항에 있어서, 사이에 스페이서(AH)를 갖는 2개의 브래그 격자들(BG)의 조합이 상기 변조 파면들을 1차원적으로 시프트하기 위해 상기 재구성 빔 경로에 마련되고, 각각의 브래그 격자는 소정의 기하 형태를 갖는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 스페이서(AH)와 상기 브래그 격자(BG)의 조합은 상기 변조 파면들의 순차적인 2차원 시프트를 구현하기 위해 90° 편광 스위치(PU)를 추가로 포함하는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 14

제12항에 있어서, 상기 재구성된 각각의 물점(OP_n)의 상기 변조 파면들을 서로 수직하게 연장되는 2개의 성분들로 분해하여 서로 동시에 1차원적으로 시프트하기 위해, 상기 브래그 격자(BG)가 45° 편광자와 조합되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 15

제12항에 있어서, 상기 물점들(OP_n)의 상기 변조 파면들의 2차원 시프트를 위해, 적어도 하나의 브래그 격자(BG)가 일 방향에 대한 볼륨 홀로그램에 기록되고, 적어도 하나의 브래그 격자(BG)가 다른 방향에 대한 볼륨 홀로그램에 기록되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 브래그 격자들(BG)이 기록된 상기 2개의 볼륨 홀로그램들은, 2차원적으로 배가된 각각의 물점에 대해 결과적인 무늬(resultant pattern)가 생성 - 상기 결과적인 무늬는 2개씩의 인접한 물점들이 서로 수직한 편광 p와 s를 가져 서로 비가간섭 재구성될 수 있도록 중첩되어 생성됨 - 되게끔 배치되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 17

제12항에 있어서, 3개의 기본 색들 RGB로 상기 장면을 컬러 재구성하기 위해, 상기 스페이서(AH)와 상기 브래그 격자(BG)의 조합이 각각의 색에 대해 마련되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

청구항 18

제17항에 있어서, 3개의 기본 색들 RGB로 상기 장면을 컬러 재구성하기 위해, 방향마다 그리고 색마다 2개씩의 브래그 격자들(BG)이 볼륨 홀로그램에 포함되도록 상기 스페이서(AH)와 상기 브래그 격자(BG)의 조합이 상기 볼륨 홀로그램에 기록되는 것인, 홀로그래피 디스플레이 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 스펙클 무늬(speckle pattern)를 감소시킴으로써 개선된 재구성 품질을 갖는 3차원 장면 재구성용 디스플레이에 관한 것이다.

[0002] 본 발명의 적용 분야는 예컨대 가간섭 레이저광을 사용하여 3차원 장면의 홀로그램을 실시간으로 또는 실시간에 가깝게 생성, 저장, 및 재구성하는 홀로그래피 디스플레이로서 형성된 홀로그래피 재생 장치이다. 그러한 디스플레이에서는, 뷰잉 윈도우(viewing window)라고도 지칭되는 시야 영역으로부터 재구성 공간에서 장면의 재구성물을 볼 수 있다.

배경 기술

[0003] 뷰잉 윈도우로부터 볼 수 있는 장면을 재구성하는 방법 및 장면의 홀로그램을 계산하고 코딩하는 예들이 본 출원인의 선행 문헌들, 예컨대 (1) EP 1 563 346 A2 및 (2) DE 10 2004 063 838 A1에 개시되어 있다.

[0004] 그 문헌들에 개시된 홀로그래피 디스플레이에서도 역시 전술된 홀로그램 재구성 방법이 사용되고 있다. 이하, 그 재구성 방법을 약술하기로 한다:

[0005] 홀로그래피 재구성을 위해, 3차원 장면을 프로그램 기술에 의해 그 장면의 다수의 물점들을 각각 포함하는 단면들로 분해한다. 물점들은 각각의 단면을 특징지를 뿐만 아니라, 그 모든 단면들의 합으로 입체 장면을 특징짓는다.

[0006] 물점들로부터 광변조 수단에서 표현되는 통상적으로 복소 값들의 2차원 어레이로서 컴퓨터 생성 홀로그램(computer-generated hologram)(CGH)을 계산한다. 광변조 수단은 가간섭 입사광의 파면들을 코딩된 장면의 복소 값들로 변조하는 규칙적으로 배열된 제어 가능한 요소들을 구비한다. 시스템 제어 수단의 제어 하에 가간섭광 및 재구성 수단에 의해 장면의 재구성물을 재구성 공간에 생성한다. 그때에, 재구성된 물점들의 파면들은 뷰잉 윈도우에서 가간섭 중첩된다. 뷰잉 윈도우에서는, 보는 사람(viewer)이 뷰잉 윈도우와 변조 수단 또는 스크린 사이에 펼쳐진 재구성 공간에서 장면의 결과적인 재구성물을 눈 위치로부터 보게 된다.

[0007] 그러한 방법의 변형에서는, 개별 물점들로부터 CGH를 각각 계산하여 광변조 수단의 별개의 영역에 서브홀로그램으로서 기록함으로써도 장면의 재구성물을 생성할 수 있다. 그 경우, 서브홀로그램의 영역에서의 복소 값들의 위상 분포는 해당 물점을 그 초점에 재구성하는 홀로그래피 코딩 렌즈 기능과 대략 상응한다. 그러한 렌즈의 초점 거리는 물점과 광변조 수단 또는 스크린 간의 간격에 의존하여 달라진다.

[0008] 복소 값들의 크기, 즉 진폭은 서브홀로그램의 연장에 걸쳐 대략 일정하고, 그 크기는 물점과 스크린 또는 광변조 수단 간의 간격 및 물점의 강도에 의존하여 달라진다. 가간섭광이 광변조 수단을 통과할 때에, 거기에 기록된 복소 투명도 값들이 가간섭광의 진폭 및/또는 위상을 변경한다. 변조된 광에 의해 물점이 재구성된다. 그 물점은 광변조 수단에서 서브홀로그램 밖에서는 0의 값을 갖는다. 즉, 물점은 그 서브홀로그램으로만 재생된다. 개별 홀로그램들의 복소 값들을 합침으로써 장면의 코딩된 전체 홀로그램을 얻게 된다. 본 방법을 간단히 함에 있어서는, 예컨대 물점들을 일정한 기준에 따라 CGH로서 시간 순차적으로 표현되는 물점 그룹들로 구성한다. 그 경우, 그 파면들은 뷰잉 윈도우에서 비가간섭 중첩되어 재구성 공간에서 장면의 결과적인 재구성물을 생성한다.

[0009] 그것은 아직 공개되지 않은 본 출원인의 문헌들, 예컨대 DE 10 2006 062 377 및 DE 10 2007 023 738에 다양한 계산 및 표현 타입들로 개시되어 있다.

[0010] 3차원 장면의 재구성물을 보기 위해, 보는 사람은 장면의 홀로그램이 직접 코딩되고 스크린으로서의 역할을 하는 광변조 수단을 바라본다. 그것을 직시형 구조라 지칭한다. 대안적으로, 보는 사람은 광변조 수단에 코딩된 홀로그램 값들의 맵(map)이 투사되는 스크린을 바라볼 수도 있다. 그것을 투사형 구조라 지칭한다.

[0011] 보는 사람의 눈 위치들은 알려진 바와 같이 프로그램 기술에 의해, 즉 소프트웨어적으로 메모리 수단과 계산 유닛 및 시스템 제어 수단에 커플링되는 포지션 파인더(position finder)에 의해 탐지된다. 메모리 수단에는, 장면의 CGH를 계산하는데 필요한 물점들의 정보가 룩업 테이블로서의 데이터 세트들로 저장되어 있기도 한다.

[0012] 재생 수단의 전방에 있는 뷰잉 윈도우는 크기에 있어 미리 정해지고, 일반적으로 동공의 크기와 일치한다. 뷰잉 윈도우는 광변조 수단에 코딩된 홀로그램의 직접적인 푸리에 변환이나 프리즈넬 변환 또는 역 푸리에 변환이나 역

프리즈넬 변환에 의해, 아니면 광변조 수단에 코딩된 파면의 맵으로서 뷰잉 공간의 일 평면에 형성된다. 그와 관련하여, 뷰잉 원도는 장면의 주기적 재구성물의 단일의 회절 차수만을 포함한다. 전술된 평면은 초점 수단의 초점 면일 수 있거나 광원의 이미지 면일 수도 있다. 그때에, 시야 영역으로서 사용되는 해당 회절 차수 내에서 통상적으로 광변조기를 사용한 재구성 시에 발생하는 보는 사람 눈들 사이의 일체의 혼선이 방지되도록 장면으로부터 홀로그램 또는 파면들을 계산한다. 그럼으로써, 높은 회절 차수들을 억제하는 장치 또는 방법과 조합하여 다중화 방법으로 장면들의 혼선 없이 보는 사람의 좌안 및 우안을 차례로 표현할 수 있다. 다수의 사람들에게 대한 다중화 방법도 역시 마찬가지로 그렇게 함으로써만 가능하다.

[0013] LCD, LCoS 등으로 구성되어 입사광의 위상 및/또는 진폭을 변조하는 입체 광변조기들의 픽셀은 예컨대 장면의 홀로그램을 표현하거나 장면의 복소 값 파면들을 생성하는 역할을 한다. 하지만, 이동하는 장면을 재생하기 위해서는 광변조 수단의 리프레시 레이트(refresh rate)가 충분히 커야만 한다.

[0014] 광변조기를 조명하는데 레이저광을 사용할 경우, 레이저의 가간섭 특성으로 인해 스펙클 무늬로서 또는 그레놀레이션(granulation)으로서도 알려져 있는 무늬가 뷰잉 평면에 생긴다. 그것은 통계적으로 불규칙하게 분포되는 위상 차들을 갖는 다수의 광파들의 간섭으로 인해 생기는 입상형 간섭 무늬를 의미한다. 그러한 무늬는 장면의 재구성물을 보는 것을 방해하고, 장면의 재구성물에 입체 잡음을 발생시킨다.

[0015] 스펙클 무늬는 원칙적으로 보는 사람의 눈에서 장면의 재구성물들을 시간 및 공간 에버리징(averaging)함으로써 감소할 수 있다. 그와 관련하여, 보는 사람의 눈을 항상 그 눈을 표현하는, 상이한 스펙클 무늬들을 갖는 다수의 재구성물들에 걸쳐 에버리징하고, 그럼으로써 재구성된 장면의 윤곽들이 평활화되는 것을 인지하게 된다.

[0016] 예컨대, DE 195 41 071 A1에서는 홀로그램의 진정성 체크 시에 그레놀레이션 또는 스펙클 무늬를 시간 에버리징하기 위해 회전 유리판을 빔 경로에 설치한다. 여기서, 회전 유리판은 기록에 사용되는 검출기의 주파수와 동조된 주파수로 회전한다. 그럼으로써, 스펙클 무늬가 더 이상 방해되게 발생하지 않게 된다.

[0017] 하지만, 그러한 방법은 2차원 평면 스펙클 무늬를 감소시키는데만 적용될 수 있되, 그때에 스펙클 무늬의 평면에 확산판(diffusion disk)이 위치하여야 한다. 그 경우에는, 빔 경로에서 확산판을 통해 너무 많은 빛이 상실된다고 하는 단점도 있다. 오히려, 기계적으로 회전하는 구성 요소를 홀로그래피 디스플레이의 시스템 구조에 사용하는 것을 피하여야 한다.

[0018] 또한, 스펙클 무늬의 감소를 위해 소정의 개수의 상이한 무작위 위상들을 갖는 장면들을 계산하여 그로부터 결과적인 홀로그램들을 시간상으로 빠르게 차례로 광변조 수단에 표현하는 것이 공지되어 있다. 하지만, 홀로그램 계산을 여러 번 함으로 인해 계산 비용이 현저히 상승한다. 또한, 홀로그램의 표현을 위해 제공되는 광변조 수단이 매우 빠른 리프레시 레이트를 가져야 한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0019] 본 발명의 과제는 뷰잉 원도를 구비한 홀로그래피 디스플레이에서 에버리징에 기반하여 스펙클 무늬를 감소시키는 방법을 간단한 수단에 의해 큰 비용 없이 구현하는 것이다. 그와 함께, 가간섭광을 생성하는 광원 수단 및 상업적으로 입수 가능한 광변조 수단을 사용해야 한다. 응답 시간이 빠른 광변조 수단을 무조건 사용할 필요는 없다.

과제의 해결 수단

[0020] 본 발명은 보는 사람의 눈을 통한 3차원 장면의 재구성물들을 에버리징하는 것에 입각한 본 출원인의 이미 전술된 방법을 스펙클 무늬를 감소시키는 기반으로 하고 있다. 그 방법은 3차원 장면을 피사체들로 구성하고, 그들을 다시 스펙클 무늬가 수반된 그 재구성물들이 보는 사람 눈에서 중첩되는 물점들로 구성하는 것을 그 기반으로 한다. 그에 대해서는 선행 기술에서 이미 상세히 설명한 바 있다.

[0021] 그러한 방법으로부터 출발하여, 전술된 과제는 본 발명에 따라 물점들의 변조 파면들을 시간 및 공간 시프트(shifting)하여 각각의 물점의 재구성물을 배가하고 시프트된 변조 파면들을 1인 이상의 보는 사람의 눈에 서로 비가간섭 중첩하는 수단을 홀로그래피 디스플레이의 재구성 빔 경로에 마련함으로써 해결된다. 그럼으로써, 보는 사람 눈이 스펙클 무늬가 감소한 결과적인 재구성물을 보게 된다.

[0022] 본 발명의 바람직한 구성에서는, 각각의 물점의 재구성물을 서로 수직인 2개의 방향으로 2번 이상 배가한다.

- [0023] 이하에서 설명되는 본 발명에 따른 시프트 및 중첩 수단은 원래 서로 별개의 장치이지만, 과제의 해결을 위해 부분적으로 서로 조합될 수도 있다. 시프트 및 중첩 수단은 재구성된 물점들을 시간 순차적으로 또는 공간적으로 서로 시프트하여 중첩한다.
- [0024] 본 발명의 또 다른 구성에서는, 홀로그래피 디스플레이의 재구성 빔 경로에서 변조 파면들 또는 재구성된 물점들을 시프트하는 다음의 구성들이 가능하다:
- [0025] 본 발명의 제1 구성에서는, 광변조 수단의 광축에 대해 소정의 각도로 배치되어 광축을 따라서 뿐만 아니라 측 방향으로도 이동할 수 있는 거울을 마련한다.
- [0026] 제1 구성에서는, 또 다른 구성 형태로 광변조 수단의 광축을 따라서 뿐만 아니라 측 방향으로도 이동할 수 있는 프리즘 매트릭스를 광변조 수단의 평면과 평행한 평면에 마련한다.
- [0027] 본 발명의 제2 구성에서는, 프리즘들의 굴절 각이 높은 스위칭 주파수로 2개 이상의 값들 사이에서 시간 순차적으로 변경되는 가변 제어 구동 가능하게 구성된 프리즘 쌍을 광변조 수단과 평행한 평면에 마련한다. 그럼으로써, 각각의 물점의 변조 파면이 한번 이상 시프트되고, 옆으로 떨어져 보는 사람 눈으로 유도되어 거기서 서로 중첩될 수 있게 된다. 제2 구성의 또 다른 구성 형태에서는, 제어 가능한 프리즘 쌍들이 변조 파면들의 시프트를 위한 매트릭스로 규칙적으로 배치되는데, 프리즘들의 굴절 각은 높은 스위칭 주파수로 2개 이상의 값들 사이에서 가변적으로 제어될 수 있다.
- [0028] 본 발명의 제3 구성에서는, 동시에 재구성 광학 기구의 전방 초점 면이기도 한 푸리에 평면의 중심에 가변 제어 구동 가능한 프리즘이 배치되는 투사형 홀로그래피 디스플레이로서 디스플레이를 구성한다.
- [0029] 본 발명의 제4 구성에서는, 마름모꼴 프리즘들의 매트릭스를 편광 스위치와 조합하여 광변조 수단에 인접하게 마련한다. 또 다른 구성 형태에서는, 변조 파면들의 2차원 시프트를 위해 마름모꼴 프리즘 매트릭스와 편광 스위치의 이중 조합을 광변조 수단에 인접하게 마련한다.
- [0030] 본 발명의 제5 구성에서는, 이중 굴절 재료로 이뤄진 제1 광소자를 편광 스위치와 조합하여 광변조 수단의 하류에 배치하되, 이중 굴절 재료로 이뤄진 제2 광소자가 그 뒤를 따르게 한다. 여기서, 이중 굴절 재료는 2부분으로 나뉘어 구성되는 것이 바람직하다.
- [0031] 편광 스위치는 패러데이 셀(Faraday cell)의 형태의 능동 수단으로서 또는 $\lambda/2$ 플레이트($\lambda/2$ plate)의 형태의 수동 수단으로서 형성될 수 있다.
- [0032] 본 발명의 제6 구성에서는, 변조 파면들의 측 방향 1차원 시프트를 위한 그 사이에 스페이서가 놓인 2개의 브래그 격자(Bragg grating)들의 조합을 재구성 빔 경로에 초기 전파 방향과 평행하게 마련한다.
- [0033] 또 다른 구성 형태에서는, 스페이서를 갖는 브래그 격자들과 추가의 90° 편광 스위치의 조합에 의해 물점의 변조 파면을 순차적으로 2차원 시프트한다.
- [0034] 또 다른 구성 형태에서는, 각각의 재구성된 물점의 변조 파면을 서로 수직하게 연장되는 2개의 성분들로 분해하여 서로 동시에 1차원적으로 시프트하기 위해 브래그 격자를 45° 편광자와 조합한다.
- [0035] 또 다른 구성 형태에서는, 일 방향에 대한 볼륨 홀로그램(volum hologram)에 하나 이상의 브래그 격자를 기록하고 다른 방향에 대한 볼륨 홀로그램에 하나 이상의 브래그 격자를 기록함으로써 각각의 변조 파면을 2차원 시프트한다.
- [0036] 또 다른 구성 형태에서는, 2개씩의 인접한 물점들이 서로 수직한 편광 p와 s를 가져 서로 비가간섭 재구성되도록 중첩된 결과적인 무늬가 2차원적으로 배가된 각각의 물점에 대해 생성되게끔 브래그 격자들이 기록된 2개의 볼륨 홀로그램들을 배치한다.
- [0037] 그와 관련하여, 일 방향으로 물점들을 배가하는데 하나 이상의 브래그 격자가 필요하다.
- [0038] 본 발명의 제7 구성에서는, 3개의 기본 색들 RGB로 장면을 컬러 재구성하기 위해 스페이서를 갖는 2개의 브래그 격자들을 각각의 색에 대해 마련한다. 본 구성의 일 형태에서는, 3개의 기본 색들 RGB로 장면을 컬러 재구성하기 위해 방향마다 및 색마다 2개씩의 브래그 격자들이 볼륨 홀로그램에 포함되도록 스페이서와 브래그 격자의 조합을 볼륨 홀로그램에 기록한다.

발명의 효과

[0039] 본 발명에 따른 뷰잉 윈도우를 구비한 홀로그래피 디스플레이에서는, 에버리징에 기반하여 간단한 수단에 의해 큰 비용 없이 스펙클 무늬를 감소시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0040] 이하, 본 발명을 첨부 도면들에 의거하여 실시예들에 의거하여 더욱 상세히 설명하기로 한다. 첨부 도면들 중

도 1은 개별 물점의 2개의 회절 무늬들을 눈의 망막에 중첩하는 것을 그래프로 나타낸 도면이고;

도 2는 재구성 공간에서 재구성된 2개의 물점들 및 스펙클 무늬의 크기를 산출하기 위한 해당 파라미터들을 개략적으로 나타낸 도면이며;

도 3a 및 도 3b는 변조 파면들을 a) 이동식 거울에 의해, 그리고 b) 이동식 프리즘에 의해 시프트하는 제1 구성 예를 나타낸 도면들이고;

도 4a 및 도 4b는 변조 파면들을 가변 제어 구동 가능한 프리즘 쌍에 의해 시프트하는 제2 구성 예를 나타낸 도면들이며;

도 5는 푸리에 평면에 배치된 제어 가능한 프리즘에 의한 제3 구성 예를 나타낸 도면이고;

도 6a 및 도 6b는 a) 편광 스위치와 조합한 마름모꼴 프리즘들의 매트릭스에 의한, 그리고 b) 마름모꼴 프리즘 매트릭스와 편광 스위치의 이중 조합에 의한 제4 구성 예를 나타낸 도면이며;

도 7은 편광 스위치와 조합한 2부분으로 구성된 이중 굴절 재료에 의한 제5 구성 예를 나타낸 도면이고;

도 8은 스페이서에 의해 분리된 2개의 브래그 격자들에 의한 제6 구성 예를 나타낸 도면이며;

도 9a 및 도 9b는 a) 평면도로, 그리고 b) 측면도로 도시된 브래그 격자들의 순차 조합에 의한 제6 구성 예의 2가지 구성 형태들을 나타낸 도면들이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041] 본 발명에 따라 구성된 홀로그래피 디스플레이는 직시형 디스플레이 또는 투사형 디스플레이로서 구현될 수 있다.

[0042] 스펙클 무늬를 줄이기 위한 본 발명의 기본 사상은 재구성된 장면을 서로 비가간섭 중첩하는 것이다. 장면은 다수의 물점들로 구성되기 때문에, 재구성된 모든 물점들을 서로 중첩하여야 한다. 그를 위해, 재구성된 모든 물점들 및 그에 따른 그 회절 무늬들을 그 변조 파면들의 시프트에 의해 시분할 다중화 또는 공간 분할 다중화로 배가하고, 이어서 장면의 이미지 콘텐츠를 변경함이 없이 보는 사람 눈에 비가간섭 중첩한다. 재구성된 각각의 물점은 고유의 스펙클 무늬를 갖는다. 중첩의 수가 많을수록 보는 사람 눈을 여러 스펙클 무늬들에 걸쳐 더욱더 미세하게 에버리징하여 스펙클 무늬의 현저한 감소를 인지할 수 있게 된다. 장면의 재구성에 필요한 기술 수단 및 소프트웨어 수단은 도시를 생략한 시스템 제어 수단에 통합되거나 그와 연동한다.

[0043] 도 1에는 재구성된 물점을 시프트한 결과를 2개의 회절 무늬들의 최대치들 및 최소치들로 나타낸 그래프가 도시되어 있다. 양 회절 무늬들은 비가간섭 중첩되고, 그 최대치들에 있어 서로 일정한 간격을 갖는데, 그러한 간격에 의해 스펙클 무늬가 확연히 평활화된다.

[0044] 스펙클 무늬의 통계적 특성은 스펙클 무늬의 크기를 나타내는 상관 길이인 δ_{sp} 에 의해 결정된다. 재구성 공간에서 장면을 보는 단면에 대해, 그 상관 길이(δ_{sp})는 오로지 보는 사람의 동공의 지름(D_p) 및 광원으로서의 레이저의 방사광의 파장(λ)에 전적으로 의존하여 달라진다. 그것은 다음의 수학적 1로 결정될 수 있다:

수학적 1

$$\delta_{sp} \approx 2.4\lambda \frac{S}{D_p}$$

[0045]

[0046] 여기서, D_p 는 동공의 지름이고, λ 는 파장이며, $S' = f' + z'$ 은 눈의 망막 상의 물점들 OP1; OP2의 이미지들에 의한 단면의 이미지 간격이다.

[0047] 재구성된 물점(OP)을 배가할 때에 망막 상의 그 배가된 이미지들(OP')의 간격을 적어도 상관 길이(δ_{sp})와 동일하게 선택한다면, 재구성된 물점들(OP_n)의 스펙클 무늬의 표준 편차가 $\sqrt{2}$ 배만큼 감소한다. 그러면, 모든 물점들(OP_n)의 2차원 시프트 시에는 스펙클 무늬의 표준 편차가 절반으로 되게 된다.

[0048] 그러한 관계를 명료하게 하기 위해, 도 2에는 기하학적-광학적 관계가 도시되어 있다. 재구성 공간(RK)에 있는 물점들(OP1 및 OP2)에 대한 물점 평면에서의 축 방향 간격이 Y로 지시되어 있고, 이미지 평면에서의 그 물점들의 이미지들의 간격이 Y'로 지시되어 있다. 재구성 공간(RK)은 광변조 수단(SLM)과 접안 렌즈(L) 사이에 연장되는데, 물점들(OP1 및 OP2)은 그 접안 렌즈(L)로부터 간격 d를 갖는다. 여기서, 접안 렌즈(L)의 지름은 동시에 뷰잉 윈도우(OW)를 형성한다.

[0049] 간격들(Y 및 Y')은 다음의 관계식에 의해 서로 연관된다:

수학식 2

$$Y = \frac{Y'}{\beta}$$

[0050]

[0051] 여기서, β 는 다음의 식에 의해 주어지는 맵핑 스케일이다:

수학식 3

$$\beta = -f/z = -z'/f'$$

[0052]

[0053] 수학식 3에서, f는 초점 거리이고, z는 피사체 거리이며, f' 및 z'는 이미지 측에서의 해당 크기들이다.

[0054] 앞의 수학식들로부터 알 수 있는 바와 같이, 재구성된 장면으로부터 보는 사람까지의 간격이 작아짐에 따라 스펙클 무늬의 가시 크기가 축소된다. 재구성 공간(RK)에서 모든 단면들은 물점들(OP_n)이 위치할 수 있는 항상 동일한 수의 주사점들을 갖기 때문에, 물점들(OP_n)의 상호 간격은 보는 사람 눈의 간격에 비례하여 변환다. 그것은 가시적 스펙클 무늬도 역시 보는 사람 눈의 간격에 비례하여 변환한다는 것을 의미한다. 그리하여, 보는 사람은 각각의 단면에서의 스펙클 무늬를 동일한 크기로 인지하게 된다.

[0055] 그것을 기반으로 하여, 도 3 내지 도 9에는 장면의 재구성된 물점들을 시프트하여 배가하고 중첩하는 가능한 기술 수단들이 개략적으로 도시되어 있는데, 그 기술적 수단들은 본 발명에 따라 에버리징에 의해 스펙클 무늬를 감소시키는데 필요한 것들이다.

[0056] 광변조 수단을 각각 가간섭 조명하는 레이저를 광원 수단으로서 사용한다. 개별 구성 요소들의 제어는 도시를 생략한 제어 수단에 의해 이뤄진다.

[0057] 도면들을 단순화하기 위해, 장면의 재구성된 모든 물점들(OP_n)을 대표하는 것으로 항상 하나의 재구성된 물점의 파면을 시프트하는 것만을 도시하기로 한다. 파면은 시프트 방향을 표시하는 화살표로서 도시되어 있다. 동일한 도면 부호를 사용한다는 것은 달리 설명하지 않는 한 그것이 원칙적으로 동일한 기능의 구성 요소라는 것을 의미한다.

[0058] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 제1 구성에 대해 재구성된 물점들의 변조 파면들을 기계적으로 시프트하는 2가지 가능한 배치들을 나타내고 있다.

[0059] 도 3a에서는, 광변조 수단(SLM)의 광축에 대해 바람직하게는 45°의 고정 설정된 각도를 두고 거울이 배치된다. 그러한 거울은 모든 변조 파면들을 초기 전파 방향에 대해 90°만큼 축 방향으로 전향시킨다. 거울은, 그리고 그에 의해 파면들은 1차원적으로(축 방향으로 또는 광변조 수단(SLM)의 광축을 따라) 시프트될 수 있을 뿐만 아

나라, 2차원적으로, 그에 따라 서로 수직한 2개의 방향들로 시프트될 수도 있다. 그것은 우측에서 이중 화살표에 의해 알아볼 수 있을뿐더러, 거울로부터 멀어지는 빔 추이의 점선 도시를 통해서도 알아볼 수 있다. 거울의 2개의 가능한 또 다른 위치들이 두꺼운 사각형 점들로 도시되어 있다.

[0060] 하지만, 거울은 보는 사람의 눈 위치 또는 홀로그래피 디스플레이의 다른 구성 요소들에 따라 광변조 수단(SLM)에 대해 다른 각도로 설정될 수도 있다.

[0061] 도 3b에서는, 광변조 수단(SLM)의 평면과 평행한 평면에서 프리즘들의 매트릭스를 볼 수 있다. 프리즘 매트릭스는 1차원적으로는 물론 2차원적으로도 이동될 수 있는데, 그것은 수직 이중 화살표 및 수평 이중 화살표로 도시되어 있다. 광축을 따른 프리즘 매트릭스의 이동이 확대된 단일의 프리즘에 도시되어 있다. 프리즘의 이동된 위치를, 그리고 그에 따른 파면의 시프트된 위치도 점선 도시에 의해 나타내고 있다. 파면은 초기 전파 방향에 대해 떨어져 도시를 생략한 보는 사람 눈 쪽으로 전향된다. 개별 프리즘들은 모든 프리즘들의 프리즘 웨지들이 각각의 행에서 동일한 방향을 향하도록 규칙적으로 배열된다.

[0062] 여기서는, 또 다른 구성 형태로서 도 3a로부터의 거울과 프리즘 매트릭스를 조합하여 시프트를 구현하는 것도 가능하다. 예컨대, 프리즘 매트릭스가 거울 상에 배치되어 그와 함께 콤팩트한 광학 유닛을 형성하게 한다.

[0063] 장면의 재구성된 각각의 물점의 파면은 도 3a 및 도 3b의 배치들에 의해 시간 순차적으로 시프트되어 서로 중첩된다. 재구성된 각각의 물점의 2배수(1차원) 또는 4배수(2차원)가 눈의 망막 상에 생성되어 중첩된다. 재구성된 물점들의 파면들을 일 방향 또는 양 방향으로 단지 한번 시프트하는 것이 아니라, 여러 번 시프트함으로써 더 많은 수의 시프트들을 생성할 수 있다. 그러한 다중 시프트를 도 3a에서 보는 사람 눈 쪽을 겨냥한 다수의 화살표들에 의해 알아볼 수 있다.

[0064] 제2 구성 예는 광학적으로 일어나는 변조 파면들의 시프트를 포함하고, 도 4a 및 도 4b에 도시되어 있다. 재구성된 물점의 파면이 입사하는 가변 제어 구동 가능한 프리즘 쌍이 광변조 수단(SLM)과 평행한 평면에 배치된다. 전파 방향은 화살표로 각각 표시되어 있다. 파면은 프리즘들을 통과할 때에 굴절됨으로써 초기 전파 방향에 대해 평행하게 시프트된다. 양 프리즘들의 굴절 각은 높은 스위칭 주파수로 2개의 값들 사이에서, 특히 도 4a에 해당하는 값과 도 4b에 해당하는 값 사이에서 시간 순차적으로 변경된다. 여기서, 그러한 시프트는 재구성된 물점을 배가시키고, 그에 따라 배가된 물점들을 보는 사람 눈의 망막에 서로 중첩하며, 모든 물점들에 대해 그와 같이 시프트가 생성된다. 도시된 도면은 1차원 시프트의 예이다.

[0065] 변조된 파면들의 2차원 시프트는 2차원 굴절 형태를 갖는 프리즘들의 구성에 의해 또는 서로 수직하게 정렬된 동일한 구성의 2개의 프리즘 쌍들에 의해 생성된다.

[0066] 개별적으로 제어 가능한 프리즘 쌍 대신에 시프트를 구현하는 규칙적으로 배열된 가변 제어 구동 가능한 프리즘 쌍들의 매트릭스를 사용하는 것도 본 발명의 범위 내에 있다.

[0067] 본 발명의 제3 구성에서는, 바람직하게는 투사형 디스플레이에 사용하기 위한 변한 광학 기구의 푸리에 평면의 중심에 제어 가능한 프리즘이 도시되어 있다.

[0068] 평행하게 정렬된 레이저 광이 도 5에 따라 광변조 수단(SLM)을 조명한다. 뒤따르는 변환 광학 기구는 동시에 재구성 광학 기구의 전방 초점 면이기도 한 푸리에 평면(FE)에서 변조 파면들을 변환한다. 푸리에 평면(FE)의 중심에 배치된 제어 가능한 프리즘은 높은 스위칭 주파수로 시간 순차적으로 구동되고, 그럼으로써 변조 파면들을 매우 빠르게 시프트한다. 재구성 광학 기구는 시프트된 파면들에 의해 각각의 물점을 각각 상이한 스펙클 무늬들로 2번 재구성한다. 보는 사람 눈에 파면들이 중첩됨으로써, 눈이 여러 스펙클 무늬에 걸쳐 에버리징된다.

[0069] 도 3b, 도 4a, 도 4b, 및 도 5에 사용하기 위한 제어 가능한 프리즘들은 예컨대 그 광학 굴절 거동이 제어 전압의 인가에 의해 변할 수 있는 서로 혼합 불가능한 2개의 액체들을 포함하는 액체 프리즘들이다.

[0070] 도 6a 및 도 6b에는 본 발명의 제4 구성이 도시되어 있다.

[0071] 능동 또는 수동 편광 스위치와 조합된 마름모꼴 프리즘들의 매트릭스가 광변조 수단(SLM)에 부속된다. 도 6a에 확대 도시된 바와 같은 개별 마름모꼴 프리즘에 의해, 각각의 파면이 서로 수직한 p-극; s-극 편광들을 갖는 2개의 부분들로 분할된다. 개별 마름모꼴 프리즘은 매트릭스의 규칙적으로 배열된 다수의 프리즘들 중의 하나로서, 매트릭스 쪽을 향한 화살표를 통해 그것을 명확히 알 수 있다. 광변조 수단(SLM)과 프리즘 매트릭스 사이에 배치된 편광 스위치(PU)는 정해진 각도로 설정될 수 있다. 예컨대, 45°의 각도일 경우, 편광 스위치(PU)는 변조 파면을 2개의 동일한 크기의 부분들로 분할하고, 그럼으로써 재구성된 모든 물점들이 1차원적으로 초기 전

파 방향에 대해 측 방향으로 시프트된다. 도시를 생략한 다른 구성 형태에서는, 파면들을 일 방향으로 시간 순차적으로 시프트하여 물점들을 중첩하기 위해 마름모꼴 프리즘들에 대해 예컨대 90° 만큼의 주기적 스위칭이 수행된다.

[0072] 2차원 시프트를 위해, 도 6b에 상응하게 프리즘 매트릭스와 편광 스위치(PU)의 조합을 이중으로 배치한다. 그와 관련하여, 제2 프리즘 매트릭스는 광 방향으로 편광 스위치(PU)의 뒤에서 90°의 각도로 회전한다. 편광 스위치(PU)에 의해 전기장의 45° 회전이 이뤄진다. 그럼으로써, 변조 파면이 동일한 세기를 갖는 4개의 동일한 부분들로 시간 순차적으로 분할되고, 그 부분들은 망막 상에 중첩된다.

[0073] 그러한 방법의 결과로 생기는 물점들의 중첩 무늬가 도 6b에 확대 도시되어 있는데, 그 도면에서 화살표가 그 무늬를 가리키고 있다.

[0074] $\lambda/2$ 플레이트를 수동 편광 스위치(PU)로서, 그리고 패러데이 셀을 능동 편광 스위치로서 사용할 수 있다.

[0075] 물점들을 시프트하기 위해, 본 발명의 제5 구성에서는 전반적으로 이중 굴절 효과를 활용할 수 있다. 이중 굴절 재료에서는, 2개의 광축들이 지향적으로 배향되므로, 빔 진로에 재료를 적절히 배치한다면 빔 클러스터(cluster) 또는 파면이 재료를 통과할 때에 굴절에 의해 2개의 부분들로 분할된다.

[0076] 그에 상응하게, 도 7에서 광변조 수단(SLM)으로부터 나오는 변조 파면은 이중 굴절 재료로 이뤄진 제1 광소자에 입사한다. 이중 굴절 재료의 배향이 이중 화살표로 표시되어 있다. s-극과 p-극으로 지시된 상이하게 편광된 2개의 파면들은 서로 평행하게 이중 굴절 재료를 떠난다. 양 파면들을 다른 방향으로 시프트하기 위해, $\lambda/2$ 플레이트 또는 다른 편광 스위치(PU)가 이중 굴절 재료로 이뤄진 제2 광소자 앞에 놓인다. $\lambda/2$ 플레이트는 양 파면들의 편광을 45° 회전시키므로, 양 파면들이 그 각도로 제2 재료에 들어온다. 제2 재료를 통과하고 나면, 그 결과로서 물점의 파면이 4개의 방향으로 시프트되고, 그에 상응하게 그 물점의 파면들이 망막 상에 4번 중첩되게 된다. 4개의 상이한 방향들은 도 7에서 화살표들에 의해 원근 없이 표시되어 있다. 망막 상의 인접 파면들은 서로 수직하게 연장되는 편광을 가져 서로 간섭되는 것이 아니라 비가간섭 중첩된다.

[0077] 본 발명의 제6 구성에서는, 변조 파면들의 시프트를 위해 홀로그래피 디스플레이의 빔 경로에 브래그 격자를 사용한다. 브래그 격자는 이중 굴절 재료와 유사한 거동을 보인다. 홀로그래피 활상 재료의 노광에 의한 브래그 격자의 제조 시에 레이저광의 입사각 및 파장의 선택을 통해 그 격자 구조의 각도 및 파장을 자유로이 선택할 수 있다. 그러한 특성에 의해, 브래그 격자는 파면들을 의도적으로 시프트하여 재구성된 물점들을 배가하는데 아주 잘 적용될 수 있다.

[0078] 도 8은 예컨대 60°/0° 및 0°/60°의 격자 기하 형태를 갖는 브래그 격자(BG)의 기본 구조를 나타낸 것으로, 격자 구조물들 사이에는 스페이서(AH)가 마련된다. 그럼으로써, 브래그 격자(BG) 내에서 레이저광의 입사 파면들이 60°만큼 전향되게 된다. 여기서, 브래그 격자(BG)는 편광 방향에 대해 100%의 회절 효율을 구현할 수 있고, 그에 수직한 성분에는 0%의 회절 효율을 구현할 수 있다. 스페이서(AH)의 두께 및 격자 기하 형태(회절 각)는 입사 파면의 초기 전파 방향에 대한 그 각각의 측 방향 시프트를 결정한다.

[0079] 격자 기하 형태에 있어 편광 벡터가 예컨대 45°인 경우, 동일한 세기를 갖는 2개의 파면들이 주어진다. 제2 격자는 제1 격자와 동일한 기하 형태를 가지므로, 하나의 파면만을 회절시키는 반면, 다른 파면은 그 격자를 방해받음 없이 통과한다. 양 파면들은 제2 브래그 격자(BG)로부터 서로 평행하게 나와 1차원 시프트를 구현한다.

[0080] 브래그 격자(BG)에 대한 최적의 편광 빔 분할 기하 형태의 다른 조합들도 가능하다. 즉, 예컨대 45°/0° 또는 30°/0°의 회절 각을 갖는 브래그 격자도 가능하고, 홀수의 도수를 갖는 브래그 격자도 가능하다.

[0081] 스페이서(AH)로서는, 예컨대 200 μm 까지의 두께를 갖는 포일, 플라스틱판, 또는 유리판을 사용할 수 있다.

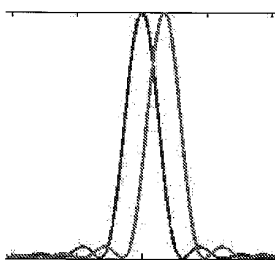
[0082] 도 9a 및 도 9b에서는, 변조 파면들을 브래그 격자에 의해 2차원적으로 시프트하기 위한 방안의 도면을 볼 수 있다. 기본적으로, 2차원 시프트는 브래그 격자들의 순차적인 조합에 의해, 아니면 다수의 브래그 격자들을 홀로그래피 활상 재료에 기록하는 것에 의해 이뤄질 수 있다. 후자를 볼륨 홀로그램이라고 지칭하기도 한다.

[0083] 도 9a에서는, 2개의 브래그 격자들로 이뤄진 볼륨 홀로그램을 측면도로 볼 수 있다. 광변조 수단(SLM)으로부터 나온, 2개의 편광 성분들 p와 s를 포함하는 변조 레이저광이 브래그 격자(BG)에 입사한다. 브래그 격자(BG)는 편광 성분 p의 변조 파면들이 브래그 격자(BG)를 통과할 때에 2개의 p 성분들로 분할되도록 선택된다. 2개의 p 성분들은 동일한 편광을 갖지만, 일 평면에서 2개의 방향으로 서로 대칭적으로 펼쳐진다.

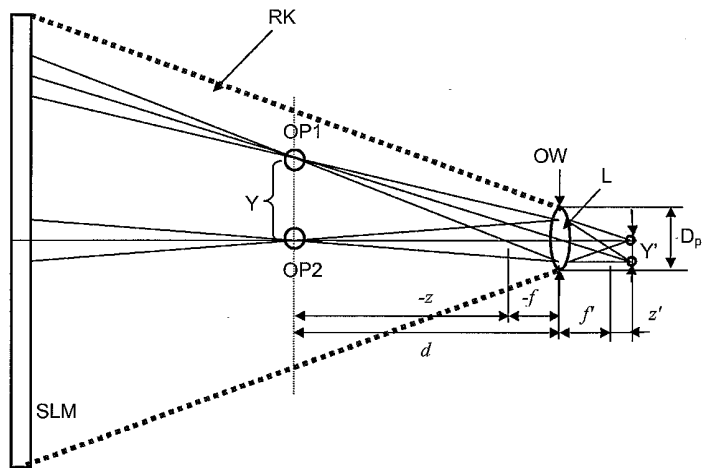
- [0084] 도시를 생략한 제2 볼륨 홀로그램도 역시 2개의 브래그 격자들로 이뤄진다. 제2 볼륨 홀로그램을 통과할 때에, 다른 편광 성분 s가 제1 평면에 수직하게 놓인 평면에서 역시 마찬가지로 동일한 편광을 갖는 2개의 s 성분들로 분해된다.
- [0085] 볼륨 홀로그램들의 2개의 p 성분들과 2개의 s 성분들(A 시선)은 도 9a에서 광축들에 대해 대칭으로 되어 도시되어 있다.
- [0086] 양 볼륨 홀로그램들은 초기 변조 파면들의 전파 방향이 양 볼륨 홀로그램들을 통과한 후에 그대로 유지되도록 서로 배치된다.
- [0087] 도 9b는 도 9a의 볼륨 홀로그램의 정면도를 나타낸 것이다. 여기서도, 제2 볼륨 홀로그램과 스페이서의 도시는 역시 생략되어 있다.
- [0088] 2개의 볼륨 홀로그램들에 포함된 브래그 격자(BG)는 망막 상의 2차원적으로 배가된 물점의 결과적인 무늬를 생성하는데, 도 9b에서 화살표로 그것을 지시하고 있다. 그러한 무늬에서는, 중첩된 2개씩의 물점들이 동일한 편광 p와 s를 갖는다. 중첩된 인접 물점들은 서로 상이하게 편광되기 때문에, 서로 비가간섭 재구성된다. 여기서도, 보는 사람 눈은 역시 스펙클 무늬가 감소한 장면의 결과적인 재구성물을 인지하게 된다.
- [0089] 본 발명의 제7 구성에서는, 3가지 기본 색들 RGB(적, 녹, 청)로 된 브래그 격자들에 의해 장면을 컬러 재구성한다. 재구성된 물점의 배가를 각각의 색에 대해 구현하기 위해, 예컨대 도 8에 해당하는, 스페이서를 갖는 브래그 격자들의 조합을 재구성 빔 경로에서 각각의 색에 대해 사용한다.
- [0090] 제7 구성의 또 다른 구성 형태에서는, 각각의 색에 대한 볼륨 홀로그램이 다수의 브래그 격자들을 포함하도록 함으로써도 장면의 컬러 재구성물을 생성할 수 있다. 여기서, 브래그 격자들의 수는 일반적으로 각각의 물점의 파면들을 서로 중첩하려고 원하는 중첩의 수에 의존하여 달라진다. 주지된 바와 같이, 중첩의 수가 클수록 눈이 여러 스펙클 무늬들에 걸쳐 더욱더 미세하게 에버리징된다.
- [0091] 볼륨 홀로그램이 색마다 및 방향마다 3개씩의 브래그 격자들을 포함하여야 한다면, 도 9a 및 도 9b의 구성에 상응하게 장면의 컬러 재구성물을 생성한다. 그 결과, 전체적으로 컬러 재구성을 위해 적어도 존재하여야 하는 브래그 격자들의 수는 $2 \times 2 \times 3 = 12$ 이다.
- [0092] 브래그 격자의 각도 선택성이 크다는 것으로 인해, 본 발명을 구현함에 있어서는 레이저광이 매우 작은 각도 범위로 방사되도록 하는 것을 고려하여야 한다. 그것은 다음과 같이 함으로써 구현될 수 있다:
- [0093] a) 시프트를 일으키는 수단을 광 방향으로 광변조 수단의 뒤에, 그러나 예컨대 프리즈넬 렌즈 또는 DOE 렌즈일 수 있는 대물 렌즈의 앞에 배치한다. 혹은
- [0094] b) 시프트를 일으키는 수단을 적절한 수의 개별 브래그 격자들로 공간 분해하되, 브래그 격자의 기하 형태를 변조 파면들의 위치에 따라 변경한다.
- [0095] 특히, 브래그 격자들에 의해 장면의 재구성된 모든 물점들을 배가하기 위해 본 발명에 따라 사용되는 레이아웃은 홀로그래피 디스플레이에서 능동 소자들을 필요로 하지 않는다. 브래그 격자는 설명된 모든 수단들 중에서 기술적으로 및 생태학적으로 가장 효과적으로 사용될 수 있다. 그와 관련하여, 브래그 격자는 기계적으로 이동시킬 필요가 없고, 전자 제어를 필요로 하지 않으며, 수동 소자로서 제작될 수 있다는 점에서 유리하다.

도면

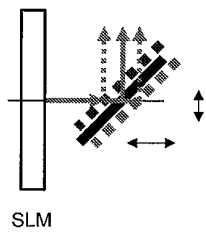
도면1



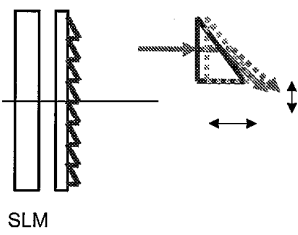
도면2



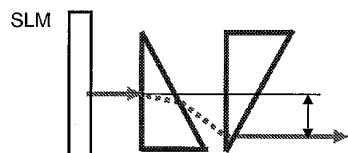
도면3a



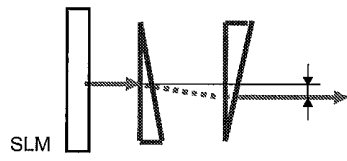
도면3b



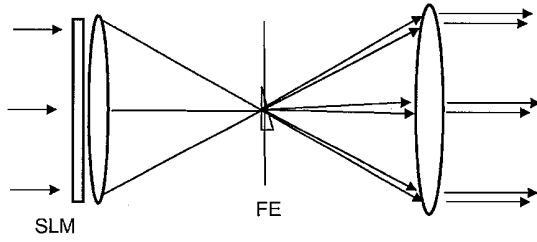
도면4a



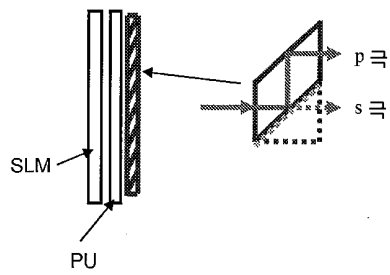
도면4b



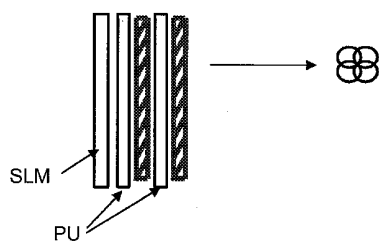
도면5



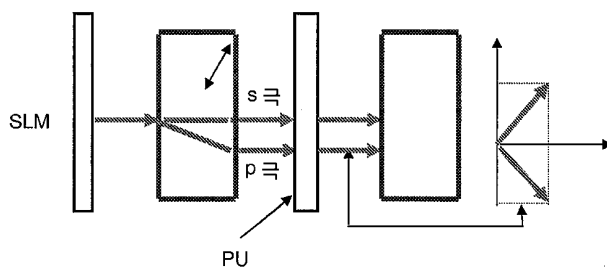
도면6a



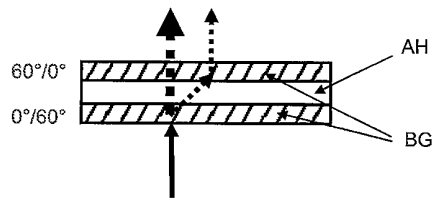
도면6b



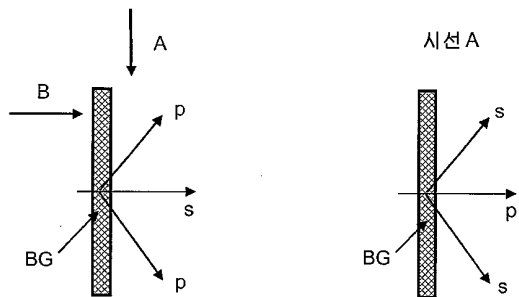
도면7



도면8



도면9a



도면9b

