

(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup> G02B 27/18	(11) 공개번호 특2000-0048227	(43) 공개일자 2000년07월25일
(21) 출원번호	10-1999-0058776	
(22) 출원일자	1999년12월17일	
(30) 우선권주장	98-358749 1998년12월17일 일본(JP)	
(71) 출원인	99-255636 1999년09월09일 일본(JP) 가부시키가이샤 니콘 오노 시게오	
(72) 발명자	일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 3-2-3 고마츠다히데키 일본도쿄도지요다구마루노우찌3초메2반3고가부시키가이샤니콘내 다니츠오사무 일본도쿄도지요다구마루노우찌3초메2반3고가부시키가이샤니콘내 고토아키히로 일본도쿄도지요다구마루노우찌3초메2반3고가부시키가이샤니콘내 가나야마야노부미치 일본도쿄도지요다구마루노우찌3초메2반3고가부시키가이샤니콘내 시부야마사토	
(74) 대리인	일본도쿄도지요다구마루노우찌3초메2반3고가부시키가이샤니콘내 김창세	

심사청구 : 없음

(54) 이미지 투사 장치를 이용한 표면 조명 방법 및 조명 광학시스템

요약

본 발명의 조명 광학 시스템 및 방법은, 바람직한 수정된 조명 형태를 갖는 2차 광원이 형성되고 광 손실이 최소화되도록 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성한다. 조명 광을 복수의 방향으로 확산시키는 광 빔 형상 변경 요소 및 복수의 광원 이미지를 형성하는 각진 광 빔 형성 요소는 함께 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 생성하도록 동작한다. 2차 광원은 바람직한 수정된 조명 형태를 가지므로, 2차 광원의 사이즈 및/또는 형상을 제한하는 데 사용된 구경 조리개는 단지 소량의 조명광을 차단하거나 완전히 제거될 수 있다. 광 빔 형상 변경 요소와 환형 광 빔 형성 요소 사이에 위치된 증 광학 시스템의 배율을 변화시킴으로써 환형 또는 4극자 수정된 조명 형태의 환형 비율 및 외경을 변화시킬 수 있다. 또한, 증 광학 시스템(광학 인터그레이터의 상류측에 위치됨)의 초점 길이를 변화시킴으로써, 광원의 환형 비율을 변화시키지 않고 환형 또는 4극자 2차 광원의 외경을 변화시킬 수 있다.

대표도

도1

명세서

도면의 간단한 설명

- 도 1은 본 발명의 실시예 1에 따른 조명 광학 시스템의 개략도,
- 도 2는 예시적인 마이크로 플라이-아이 렌즈내의 렌즈 요소들의 개략도,
- 도 3의 (a) 내지 3의 (c)는 제 1 회절 광학 요소가 수신된 광을 확산시키도록 동작하는 방법을 도시하는 도면,
- 도 4의 (a) 및 4의 (b)는 환형 조명 형태가 복수의 링형 이미지를 중첩시킴으로써 형성되는 방법을 도시하는 도면,
- 도 5는 복수의 링형 이미지로부터 형성된 환형 조명 형태를 도시하는 도면,

- 도 6은 복수의 구경 조리개 형상을 갖는 구경 조리개 터릿 플레이트의 개략도,
- 도 7의 (a) 및 7의 (b)는 환형 조명 형태의 링 비율 및 직경이 변경될 수 있는 방법을 도시하는 도면,
- 도 8은 마이크로 플라이-아이 렌즈내 렌즈 요소의 예시적인 배열을 도시하는 도면,
- 도 9의 (a) 내지 9의 (c)는 제 2 회절 광학 요소가 수신된 광을 확산시키도록 동작하는 방법을 도시하는 도면,
- 도 10은 복수의 스폿 이미지를 중첩시킴으로써 형성된 4극자 조명 형태를 도시하는 도면,
- 도 11은 4극자 조명 형태의 사이즈 및 형상이 조정되는 방법을 도시하는 도면,
- 도 12는 본 발명의 실시예 2에 따른 조명 광학 장치의 개략도,
- 도 13의 (a) 및 13의 (b)는 원추형 프리즘으로부터 제 1 플라이-아이 렌즈의 입사면까지의 조명 광학 장치를 개략적으로 도시한 도면,
- 도 14의 (a) 내지 14의 (c)는 제 1 플라이-아이 렌즈로부터 구경 조리개까지의 조명 광학 장치 및, 제 1 플라이-아이 렌즈의 입사면에 경사지게 입사하는 광 빔이 제 2 플라이-아이 렌즈의 입사면에서 환형 조명 필드를 형성하는 상태를 개략적으로 도시하는 도면,
- 도 15는 원추형 프리즘으로부터 제 2 플라이-아이 렌즈까지의 조명 광학 시스템과, 제 1 줌 렌즈의 배열과 제 2 줌 렌즈의 초점 길이간의 관계와, 제 2 플라이-아이 렌즈의 입사면에 형성된 환형 조명 필드의 사이즈 및 형상을 개략적으로 도시하는 도면,
- 도 16의 (a) 내지 16의 (c)은 제 2 플라이-아이 렌즈의 후측 초점면에 형성된 4극자 2차 광원과 그에 인접하여 위치된 4극자 구경 조리개를 도시하는 도면,
- 도 17은 본 발명의 실시예 3에 따른 조명 광학 장치의 개략도,
- 도 18의 (a) 및 18의 (b)는 예시적인 제 1 회절 광학 요소가 수신된 광을 확산시키는 방법을 도시하는 도면,
- 도 19의 (a) 및 19의 (b)는 예시적인 제 2 회절 광학 요소가 수신된 광을 확산시키는 방법을 도시하는 도면,
- 도 20의 (a) 및 20의 (b)는 실시예 3에 따른 조명 광학 장치를 개략적으로 도시한 도면으로서, 도 20의 (b)는 제 1 줌 렌즈(5)의 배열이 도 20의 (b)에 도시된 상태에 비해 팽창된 상태를 도시하는 도면,
- 도 21은 본 발명의 실시예 3의 변형예에 따른 조명 광학 장치의 개략도,
- 도 22는 본 발명의 실시예 4에 따른 조명 광학 장치의 개략도,
- 도 23은 본 발명의 실시예 5에 따른 조명 광학 장치의 개략도,
- 도 24a 및 24b는 실시예 5에 사용된 예시적인 마이크로 플라이-아이 렌즈의 입력측 및 출력측을 각기 도시하는 도면,
- 도 25의 (a) 및 25의 (b)는 실시예 5에 이용된 마이크로 플라이-아이 렌즈에 대한 예시적인 배열을 각기 도시하는 도면,
- 도 26의 (a) 및 26의 (b)는 마이크로 플라이-아이 렌즈에 포함된 제 1 및 제 2 4중 프리즘 세트를 도시하는 도면,
- 도 27의 (a) 내지 27의 (c) 및 28의 (a) 및 28의 (b)는 실시예 5의 광학 인터그레이터상에 형성된 예시적인 조명 형태를 도시하는 도면,
- 도 29는 본 발명의 실시예 6에 따른 조명 광학 장치의 개략도,
- 도 30의 (a)는 실시예 6에 의해 사용된 교환가능한 광학 요소의 예시적인 세트를 갖는 회전로를 도시하는 도면,
- 도 30의 (b)는 실시예 6에 의해 사용된 교환가능한 구경 조리개의 예시적인 세트를 갖는 회전로를 도시하는 도면,
- 도 31의 (a) 내지 31의 (c)는 실시예 6에 의해 사용된 회절 광학 요소에 대한 예시적인 구성 및 회절 광학 요소에 의해 형성된 조명 형태 강도 프로파일을 개략적으로 도시하는 도면,
- 도 32의 (a) 내지 32의 (c)는 실시예 6에 의해 사용된 회절 광학 요소가 수신된 광을 확산시키는 방법을 개략적으로 도시하는 도면,
- 도 33 및 34의 (a) 내지 34의 (c)는 실시예 6에서 광학 인터그레이터상에 형성된 수정된 조명 형태를 예시적으로 도시한 도면,
- 도 35의 (a) 및 35의 (b)는 실시예 6에서 광학 인터그레이터의 렌즈 요소와 회절 광학 장치의 유효 영역 사이의 관계를 도시한 도면,
- 도 36의 (a) 및 36의 (b)는 광학 인터그레이터의 입사면상에 4개 영역을 갖는 수정된 조명 형태를 예시적으로 도시한 도면,
- 도 37의 (a) 내지 37의 (e)는 광학 인터그레이터의 렌즈 요소의 스캐닝 방향에 대해 연속적으로

경사진 영역의 에지를 갖는 복수의 영역은 갖는 수정된 조명 형태를 예시적으로 도시하는 도면,  
 도 38은 광학 인터그레이터의 입사면상의 다른 조명 형태를 예시적으로 도시하는 도면,  
 도 39는 실시예 6에서 회절 광학 요소에 대한 보호 컨테이너를 개략적으로 도시하는 도면,  
 도 40은 본 발명의 실시예 7에 따른 조명 광학 장치의 개략도,  
 도 41은 본 발명의 실시예 8에 따른 조명 광학 장치의 일부에 대한 개략도,  
 도 42는 실시예 9에 따른 조명 광학 장치의 개략도,  
 도 43은 실시예 10에 따른 조명 광학 장치의 개략도.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| 2 : 빔 확장기          | 3 : 폴딩 미러              |
| 4 : 마이크로 플라이-아이 렌즈 | 5 : 제 1 줌 렌즈           |
| 6 : 회절 광학 요소       | 7 : 줌 렌즈               |
| 8 : 플라이-아이 렌즈      | 9 : 구경 조리개             |
| 10 : 집광 광학 시스템     | 11 : 마스크               |
| 12 : 투사 광학 시스템     | 13 : 웨이퍼               |
| 20 : 입력 수단         | 21 : 제어 시스템            |
| 22 : 제 1 구동 시스템    | 23 : 제 2 구동 시스템        |
| 24 : 제 3 구동 시스템    | 25 : 제 4 구동 시스템        |
| 26 : 제 5 구동 시스템    | 40 : 다른 마이크로 플라이-아이 렌즈 |

**발명의 상세한 설명**

**발명의 목적**

**발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술**

관련 출원

다음과 같은 우선 출원의 개시 내용이 본 명세서에서 참조로 인용된다: 1998년 12월 17일자로 출원된 일본 특허 출원 제 10-358749 호 및 1999년 9월 9일자로 출원된 일본 특허 출원 제 11-255636 호.

본 발명은 이미지 투사 장치를 이용하여 마스크 또는 레티클 표면과 같은 표면을 조명하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

전형적인 노광 장치에서, 광원으로부터 방출된 광빔은 플라이-아이 렌즈(fly-eye lens)상에 입사되어, 플라이-아이 렌즈 후면상의 초점 표면에 복수의 광원 이미지를 포함하는 2차 광원을 형성한다. 이 2차 광원으로부터의 광 빔은 플라이-아이 렌즈 후면의 초점면에 인접하여 위치한 구경 조리개에 의해 제한된 후 집광 렌즈상으로 입사된다. 구경 조리개는 2차 광원의 형상 및 사이즈를 원하는 조명 조건(노광 조건)에 따라 원하는 형상 및 사이즈로 제한한다.

집광 렌즈에 의해 집광된 광 빔은 사전규정된 패턴을 갖는 마스크를 중첩하여 조명한다. 마스크 패턴을 통과한 광은 투사 광학 시스템을 통해 웨이퍼상에 이미지를 형성한다. 이와 같이 해서, 마스크 패턴이 웨이퍼상에 투사되어 노광된다. 마스크에 형성된 패턴은 고도로 집적된 것으로서, 웨이퍼상에 이러한 세부 패턴을 정확히 복사하기 위해서는 웨이퍼상에서 균일한 조명 강도가 얻어지는 것이 중요하다.

최근에, 플라이-아이 렌즈에 의해 형성된 2차 광원의 사이즈 변경을 가능하게 하고 플라이-아이 렌즈의 방출축상에 위치한 구경 조리개의 개구 사이즈(광 투과 영역)를 변화시킴으로써 조명의 코히어런스(coherency)  $\sigma$  ( $\sigma$ =구경 조리개 직경/조명 광 시스템 동공 직경, 또는  $\sigma$ =조명 광학 시스템 방출축의 개구수/조명 광학 시스템의 입사축 개구수) 변경을 가능하게 함으로써 조명 성능이 개선되었다. 또한, 플라이-아이 렌즈에 의해 형성된 2차 광원의 형상은 환형 또는 4극자 형상으로 제한됨으로써 투사 광학 시스템의 초점 길이 및 해상력(resolving power)이 개선된다.

2차 광원의 형상을 환형 또는 4극자 형상으로 제한함으로써 수정된 조명(환형 수정된 조명 또는 4극자 수정된 조명)을 얻기 위해, 플라이-아이 렌즈에 의해 형성된 비교적 큰 2차 광원으로부터의 광 빔은 환형 형상 또는 4극자 형상 개구를 갖는 구경 조리개에 의해 제한된다. 즉, 통상의 기술로 환형 수정된 조명 또는 4극자 수정된 조명의 경우, 2차 광원으로부터의 광 빔의 적절한 부분이 구경 조리개에 의해 차단되며, 조명(노광)에 이용되지 않는다. 결과적으로, 마스크 및 웨이퍼상의 조명 휘도는 구경 조리개에서의 광 손실로 인해 감소되며, 노광 장치 성능이 또한 쇠퇴함에 따

라 처리량도 감소된다.

**발명이 이루고자하는 기술적 과제**

본 발명은 이상을 감안하여 이루어진 것으로, 구경 조리개에서의 광 손실을 만족스럽게 억제하면서 환형 조명 또는 4극자 조명과 같은 수정된 조명을 성취할 수 있는 조명 광 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

**발명의 구성 및 작용**

본 발명은 수정된 조명의 유형 및 파라미터를 변화시켜서 노광되어 투사되어야 할 세부 패턴에 적합한 투사 광학 시스템용 초점 깊이 및 해상도를 얻기 위한 조명 방법 및 장치를 제공한다. 결과적으로, 고 노광 휘도 및 만족스런 노광 조건하에서 고 처리능력을 갖는 만족스런 투사 노광을 성취할 수 있다. 또한, 본 발명의 조명 광학 장치를 이용한 타겟 조명 표면에 위치된 마스크상의 패턴을 감광성 기관상으로 노광시키는 노광 방법에 의하면, 만족스런 노광 조건하의 투사 노광을 성취할 수 있고, 이에 의해 만족스런 장치를 생산할 수 있다.

본 발명의 한가지 측면에서, 조명 광학 시스템은 조명을 복수의 방향으로 확산시키는 광 빔 형상 변경 요소와 복수의 광원 이미지를 형성하는 각진 광 빔 형성 요소를 포함한다. 또한, 광 빔 형상 변경 요소 및 각진 광 빔 형성 요소는 광학 인터그레이터상에 환형 또는 4극자 조명 형태와 같은 수정된 조명 형태를 생성한다. 따라서, 광학 인터그레이터는 바람직한 수정된 조명 형태를 갖는 2차 광원을 형성한다. 2차 광원은 바람직한 형상을 가지므로, 2차 광원의 사이즈 및/또는 형상을 제한하는데 사용되는 구경 조리개는 단지 소량의 조명을 차단하거나 완전히 제거할 수 있다.

광 빔 형상 변경 요소가 각진 광 빔 형성 요소의 상류측에 배치되거나 각진 광 빔 형성 요소가 광 빔 형상 변경 요소의 상류측에 배치될 수 있다. 광 빔 형상 변경 요소는 광을 복수의 방향으로 확산시키는 어떤 유형의 광학 장치일 수도 있다. 예컨대, 광 빔 형상 변경 요소는 회절 광학 요소이거나 입사하는 평행 광을 이용해 먼 필드에 링형상 또는 다극형상의 조명 패턴을 형성하는 프리즘일 수 있다. 각진 광 빔 형성 요소는 입사광으로부터 복수의 광원을 형성하는 어떤 광학 장치일 수 있으며, 예컨대, 플라이-아이 렌즈 또는 마이크로 플라이-아이 렌즈일 수 있다.

또한, 본 발명에 의하면, 광 빔 형상 변경 요소와 각진 광 빔 형성 요소 사이에 위치한 줌 광학 시스템의 배율을 변화시킴으로써 환형 또는 4극자 2차 광원의 환형 비율 또는 외경을 변화시킬 수 있다. 또한, 줌 광학 시스템(광학 인터그레이터의 상류측에 위치됨)의 초점 길이를 변화시킴으로써, 광원의 환형 비율을 변화시키지 않고 환형 또는 4극자 2차 광원의 외경을 변화시킬 수 있다. 결과적으로, 줌 렌즈의 초점 길이 및 줌 광학 시스템의 배율을 적절히 변화시킴으로써 2차 광원의 외경을 변화시키지 않고 환형 또는 4극자 2차 광원의 단지 환형 비율만을 변화시킬 수 있다.

광 빔 형상 변경 요소 및 각진 광 빔 형성 요소는, 조명 광학 시스템이 각종 상이한 유형의 수정된 조명 형태 또는 통상의 조명을 생성할 수 있도록 다른 광 빔 형상 변경 요소 및/또는 각진 광 빔 형성 요소 또는 다른 광학 요소로 교환가능하게 제조될 수 있다. 예컨대, 일실시예에서 각진 광 빔 형성 요소는 광 빔 형상 변경 요소로부터 광을 수신하여 이 광 빔 형상 변경 요소에 의해 형성된 환형 조명 형태의 링 비율을 변화시키는 링 비율 가변 광학 시스템으로 대체될 수 있다.

본 발명의 이들 및 다른 측면은 이하의 상세한 설명으로부터 명백 및/또는 분명하게 될 것이다.

**(실시예 1)**

도 1은 본 발명의 실시예 1에 따른 조명 광학 장치에 제공되는 노광 장치의 개략적인 도면이다.

도 1의 노광 장치는 248 nm 또는 193 nm의 파장을 갖는 광을 출력하는 엑시머 레이저 광원(1)을 포함하나, 다른 광원 및 파장 출력도 가능하다. 실질적으로 광원(1)에 의해 Z 방향을 따라 방출된 평행 광빔은 X 방향을 따라 길이 방향으로 연장되는 장방형 단면과, 한 쌍의 원통형 렌즈(2a 및 2b)를 포함하는 빔 확장기(2)상에 입사된다. 원통형 렌즈(2a 및 2b)는 각각 도 1의 지면 평면(Y-Z 평면)에서, 음의 굴절력(refractive power) 및 양의 굴절력을 갖고, 지면 평면에 수직하는 평면에서 평면 평행판으로서 기능하며 광축 AX(X-Z) 평면을 포함한다. 따라서, 빔 확장기(2)상에 입사하는 광빔은 도 1의 지면 평면에서 확장되고, 사전결정된 장방형 단면을 갖는 광빔으로 형성된다.

실질적으로 빔 확장기(2)를 통해 투과된 평행 광빔은 폴딩 미러(folding mirror)(3)에 의해 Y 방향으로 편향되고, 그 다음에 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)상에 입사된다. 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 도 1 및 도 2에 도시한 바와 같이, 수직 및 수평 방향으로 조밀하게 배치된 양의 굴절력 및 정육각형 형상을 갖는 복수의 마이크로렌즈(4a)를 포함하는 광학 요소이다. 통상적으로, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)의 마이크로렌즈 그룹은 바람직하게, 예를 들면 평면 평행 유리판상에서의 에칭 공정에 의해 형성된다.

마이크로 플라이-아이 렌즈(4)의 마이크로렌즈 각각은 통상적인 플라이-아이(fly-eye) 렌즈의 렌즈 요소보다 작다. 또한, 본 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 상호 분리되어 있는 렌즈 요소를 갖는 통상적인 플라이-아이 렌즈와는 달리, 마이크로렌즈가 상호 분리되지 않도록 형성된다. 그러나, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 양의 굴절력을 갖는 렌즈 요소가 수직 및 수평 방향으로 배치된다는 점에서 통상적인 플라이-아이 렌즈와 동일하다. 도 1 및 도 2를 보다 명확하게 하기 위해, 어레이(4)내의 마이크로렌즈(4a)의 실제 수에 비해 단지 소수의 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)내의 마이크로렌즈(4a)가 도시되어 있다.

마이크로 플라이-아이 렌즈(4)상에 입사되는 광빔은 복수의 마이크로렌즈(4a)에 의해 2차원적으로

구분되어 있으며, 광원 이미지는 각각의 마이크로렌즈(4a)의 후면 초점면에, 즉 광원(1)의 평면 다운스트림에 형성된다. 각각의 마이크로렌즈(4a)의 후면 초점면에 형성된 복수의 광원 이미지로부터의 광빔은, 본 실시예에서 정육각형 단면을 각각 갖는 확산된 광빔이고, 무한초점(afocal) 줌 렌즈(5)상에 입사된다. 바람직하게 줌 렌즈(5)는 무한초점 줌 렌즈이긴 하나, 원한다면, 초점(focal) 줌 렌즈가 사용될 수 있다. 무한초점 줌 렌즈(5)는 무한초점 광 시스템을 유지하면서 그 배열이 사전결정된 범위내에서 연속적으로 변경가능하도록 구성된다. 따라서, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 광원(1)으로부터의 실질적인 평행 광빔을 광축 AX에 대해 각종 각도로 각각 광빔을 방출하는 복수의 광원 이미지로 변환하는 각진(angular) 광빔 형성 엘리먼트이다.

마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 조명 광 경로로부터 제거가능하고, 이하 보다 더 상세하게 기술되는 바와 같이, 다른 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)와 교체될 수 있다. 마이크로 플라이-아이 렌즈(4) 및 다른 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 동작하는 제 1 구동 시스템(22)에 의해 교체된다. 무한초점 줌 렌즈(5)의 배열은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 또한 동작하는 제 2 구동 시스템(23)에 의해 성취된다.

무한초점 줌 렌즈(5)를 통과하는 광빔은 회절 광학 요소(DOE)(6)상에 입사된다. 즉, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)의 후면 초점면에 형성된 각각의 광원 이미지로부터의 확산된 광빔은 정육각형 단면을 유지하면서 회절 광학 요소(6)의 회절 표면상에 집광된다. 따라서, 무한초점 줌 렌즈(5)는 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)의 후면 초점면 및 회절 광학 요소(6)의 회절 표면을 광 집합 객체로서 링크한다. 또한, 회절 광 엘리먼트(6)의 회절 표면상의 한 포인트에 집광된 광 빔의 개구수는 무한초점 줌 렌즈(5)의 배열에 따라 달라진다.

본 실시예에서, 회절 광학 요소(6)는 노광 광(조명 광)의 파장과 비슷한 피치를 갖는 글래스 기판에서 연속적인 레벨 또는 스텝을 포함하고, 입사 빔을 원하는 각도로 회절시킨다. 구체적으로, 회절 광학 요소(6)는 도 3의 (a)에 도시한 바와 같이, 사전결정된 확산각에 따라 광축 AX에 평행하여 수직으로 입사하는 광빔을 방사상으로 확산시킨다. 즉, 광축 AX를 따라 회절 광학 요소(6)상에 수직으로 입사하는 협소한 광빔은 광축 AX 근처에 집광된 동일한 각에서 모든 방향으로 회절된다. 따라서, 회절 광학 요소(6)상에 수직으로 입사하는 협소한 광빔은 링 형상의 단면을 갖는 확산된 광빔으로 변환된다. 따라서, 회절 광학 요소(6)는 협소한 입사 광빔을 방사상으로 확산된 링 형상의 광빔으로 변환하는 광빔 변경 엘리먼트이다.

도 3의 (b)에 도시한 바와 같이, 넓은 평행 광빔이 회절 광학 요소(6)상에 수직으로 입사될 때, 링 형상의 이미지(링 형상의 광원 이미지)(32)는 회절 광학 요소(6)의 뒤에 배치된 렌즈(31)의 초점 위치에 형성된다. 즉, 회절 광학 요소(6)는 멀리 있는 필드(또는 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절 구역)에서 링 형상의 광 강도 분포를 형성한다.

도 3의 (c)에 도시한 바와 같이, 회절 광학 요소(6)상에 입사하는 넓은 평행 광빔이 광축 AX에 대해 기울어질 때, 렌즈(31)의 초점 위치에 형성된 링 형상의 이미지가 쉬프트된다. 즉, 회절 광학 요소(6)상에 입사하는 넓은 평행 광빔이 사전결정된 평면(도 3의 지면 평면)을 따라 기울어질 때, 렌즈(31)의 초점 위치에 형성되는 링 형상의 이미지(33)의 중심은 변경되는 링 형상의 이미지(33)의 크기가 없어도 사전결정된 평면을 따라 광빔의 기울기 방향의 반대 방향으로 쉬프트된다.

전술한 바와 같이, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)의 후면 초점면에 형성된 각각의 광원 이미지로부터의 확산된 광빔은 유지된 정육각형 단면을 갖는 회절 광학 요소(6)의 회절 표면에 수렴된다. 즉, 복수의 각도 성분을 갖는 광빔이 회절 광학 요소(6)상에 입사될 때, 그 입사각은 정육각형 원추 광빔 범위에 의해 결정된다. 따라서, 도 4의 (a)에 도시한 바와 같이, 정육각형 원추 광빔 범위의 각 리지 라인에 대응하는 최대각으로 입사하는 광빔은 링 형상의 이미지(41-46)(도면에 실선으로 도시됨)을 형성하고, 링 형상의 이미지(47)(도면에 점선으로 도시됨)을 따라 집광되며, 회절 광학 요소(6)상에 수직으로 입사하는 광빔에 의해 형성된다. 따라서 도 4의 (b)에서, 렌즈(31)의 초점 위치에 형성된 링 형상의 이미지(41-47)를 갖는 상태가 중첩된 것으로 도시되어 있다.

실제로, 정육각형 원추 광빔 범위에 의해 결정된 복수의 각도 성분을 갖는 무한 수의 광빔이 회절 광학 요소(6)상에 입사되고, 따라서 무한 수의 링 형상의 이미지가 렌즈(31)의 초점 위치에 중첩된다. 따라서, 도 5에 도시된 이미지와 같은 전체 각도의 이미지는 마이크로 플라이-아이 렌즈(4) 및 회절 광학 요소(6)가 도 1에 도시한 바와 같은 광축 AX를 따라 위치할 때 형성된다.

회절 광학 요소(6)는 또한 이하 더 상세하게 기술되는 회절 광학 요소(60) 및 회절 광학 요소(61)로 교체될 수 있다. 회절 광학 요소(6), 회절 광학 요소(60), 및 회절 광학 요소(61)는 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 동작하는 제 3 구동 시스템(24)에 의해 교체된다.

도 1을 참조하면, 회절 광학 요소(6)를 통과하는 광빔이 줌 렌즈(7)상에 입사된다. 본 실시예에서, 줌 렌즈(7)는 도 3에 도시한 렌즈(31)와 동일한 기능을 갖는다. 또한, 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면은 줌 렌즈(7)의 후면 초점면에 인접하여 위치한다. 따라서, 회절 광학 요소(6)를 통과하는 광빔은 줌 렌즈(7)의 후면 초점면 및 그에 따른 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서 환상(環狀) 조명 필드를 형성한다. 이러한 환상 조명 필드의 외경은 줌 렌즈(7)의 초점 길이에 따라 달라진다. 따라서, 줌 렌즈(7)는 회절 광학 요소(6) 및 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면이 효과적으로 푸리에 변환의 관계를 갖게 한다. 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 변화시키는 것은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 동작하는 제 4 구동 시스템(25)에 의해 성취된다.

플라이-아이 렌즈(8)는 수직 및 수평 방향으로 조밀하게 배치되는 양의 굴절력을 갖는 복수의 렌즈 요소를 포함한다. 플라이-아이 렌즈(8)의 각각의 렌즈 요소는 마스크상에 형성될 조명 필드의 형상과 유사한(그에 따라, 웨이퍼상에 형성될 노광 영역의 형상과 유사한) 장방형 단면을 갖는다. 부가적으로, 플라이-아이 렌즈(8)의 각각의 렌즈 요소의 입사면상의 표면은 입사면과 대면하는 볼록면을 갖는 원통형 형상을 가지며, 각각의 렌즈 요소의 방출면상의 표면은 방출면에 더면하는 볼

록면을 갖는 구면 형상을 갖는다.

따라서, 플라이-아이 렌즈(8)상에 입사하는 광빔은 복수의 렌즈 요소에 의해 2차원적으로 구분되어 있으며, 광빔이 입사되는 각각의 렌즈 요소의 후면 초점면에서 광원 이미지로 형성된다. 이러한 방식으로, 복수의 환상 광원(이후 '2차 광원'이라 지칭함)은 플라이-아이 렌즈(8)의 후면 초점면에 형성된다.

플라이-아이 렌즈(8)의 후면 초점면에 형성된 환상 2차 광원으로부터의 광빔이 구경 조리개(9)상에 입사된다. 이러한 구경 조리개(9)은 광축 AX에 평행한 사전결정된 축 근처에서 회전가능한 터릿(도 1에 도시되어 있지 않음)상에서 지지된다.

도 6은 복수의 구경 조리개가 원주상에 위치하는 터릿의 구성을 개략적으로 도시하는 도면이다. 도 6에 도시한 바와 같이, 도면에서 사선으로 표시된 광학적으로 투과성의 영역을 갖는 8개의 구경 조리개(401-408)이 터릿 기판(400)상의 원주 방향을 따라 제공된다. 터릿 기판(400)은 중심점 O 근처의 광축 AX에 평행한 축 근처에서 회전할 수 있다. 따라서, 터릿 기판(400)을 최전시킴으로써, 조명 광 경로내의 구경 조리개(401-408)중 하나를 위치지정하는 것이 가능하다. 터릿 기판(400)의 회전은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 동작하는 제 5 구동 시스템(26)에 의해 성취된다.

본 실시예에서, 환형 비율을 달리하고 있는 3개의 환상 구경 조리개(401, 403, 405)이 터릿 기판(400)내에 형성된다. 환상 구경 조리개(401)은  $r_{11}/r_{21}$ 의 환형 비율을 갖는 환상 투과 영역을 갖는다. 환상 구경 조리개(403)은  $r_{12}/r_{22}$ 의 환형 비율을 갖는 환상 투과 영역을 갖는다. 환상 구경 조리개(405)은  $r_{13}/r_{21}$ 의 환형 비율을 갖는 환상 투과 영역을 갖는다.

환형 비율을 달리하고 있는 3개의 4극자 구경 조리개(402, 404, 406)이 터릿 기판(400)내에 형성된다. 4극자 구경 조리개(402)은  $r_{11}/r_{21}$ 의 환형 비율을 갖는 환상 영역내에서 4개의 중심을 달리하는 환형 투과 영역을 갖는다. 4극자 구경 조리개(404)은  $r_{12}/r_{22}$ 의 환형 비율을 갖는 환상 영역내에서 4개의 중심을 달리하는 환형 투과 영역을 갖는다. 4극자 구경 조리개(406)은  $r_{13}/r_{21}$ 의 환형 비율을 갖는 환상 영역내에서 4개의 중심을 달리하는 환형 투과 영역을 갖는다.

크기(개구)를 달리하고 있는 2개의 환형 구경 조리개(407, 408)이 터릿 기판(400)내에 또한 형성된다. 환형 구경 조리개(407)은  $2 \times r_{22}$ 의 크기를 갖는 환형 투과 영역을 갖는 한편, 환형 구경 조리개(408)은  $2 \times r_{21}$ 의 크기를 갖는 환형 투과 영역을 갖는다.

조명 광 경로내에 3개의 환상 구경 조리개(401, 403, 405)으로부터 하나의 환상 구경 조리개를 선택하고 위치 지정함으로써, 3개의 상이한 환형 비율을 갖는 환상 광빔을 형성하고 환형 비율을 달리하는 세가지 유형의 환상 변형 조명을 성취하는 것이 가능하다. 또한, 조명 광 경로내에 3개의 환상 구경 조리개(402, 404, 406)으로부터 하나의 4극자 환상 구경 조리개를 선택하고 위치 지정함으로써, 3개의 상이한 환형 비율을 갖는 4개의 중심을 달리하는 광빔을 정확하게 형성하고 환형 비율을 달리하는 세가지 유형의 4극자 변형 조명을 성취하는 것이 가능하다. 또한, 조명 광 경로내에 2개의 환형 구경 조리개(407, 408)으로부터 하나의 환형 구경 조리개를 선택하고 위치 지정함으로써,  $\sigma$  값을 달리하는 두가지 유형의 통상 원형의 조명을 성취하는 것이 가능하다. 복수의 편심 원형, 타원형 또는 부채꼴형 투과 영역을 갖는 다극 구경 조리개(예컨대, 2극 또는 8극 구경 조리개)가 터릿 기판(400)상의 구경 조리개에 적용가능하다. 4극 구경 조리개(402, 404, 406)의 투과 영역은 원형일뿐 아니라, 타원형이거나 부채꼴형(예컨대,  $1/4$  원의 형상)이다. 원형 구경 조리개(407, 408) 대신에 가변 구경 조리개(예컨대, 조리개)가 터릿 기판(400)에 적용되는 것도 가능하다.

도 1에서, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4) 및 회절 광학 요소(6)가 광축 AX를 따라 위치할 때 환상의 2차 광원이 플라이-아이 렌즈(8)의 후면 초점면에 형성되고, 따라서 3개의 환상 구경 조리개(401, 403, 405)으로부터 환상 구경 조리개중 하나가 구경 조리개(9)으로서 선택될 수 있다. 그러나, 도 6에 도시한 터릿의 구성은 예시적인 것일 뿐이며 그 위에 위치하는 구경 조리개의 유형이나 수에 대해 제한하고자 하는 것은 아니다. 또한, 본 발명은 터릿 유형의 구경 조리개(9)으로 제한하지 않는데, 그 이유는 크기 및 형태가 변경가능한 광학적으로 투과성의 영역을 갖는 구경 조리개를 사용하는 것이 또한 가능하기 때문이다. 또한, 2개의 환형 구경 조리개(407, 408) 대신에, 연속적으로 가변적인 환형 개구 직경을 갖는 아이리스 구경 조리개를 제공하는 것이 가능하다.

환상 개구(광 투과 영역)를 갖는 구경 조리개(9)을 통과한 2차 광원으로부터의 광은 광 유도 광학 시스템으로서 기능하고, 마스크(11)를 중첩 방식으로 균일하게 조명하는 집광 광학 시스템(10)에 의해 집광된다. 마스크(11)상의 패턴을 통과한 광빔은 투사 광학 시스템(12)을 통해 광감지 기판을 갖는 웨이퍼(13)상에 마스크 패턴의 이미지를 형성한다. 이러한 방식으로, 마스크(11)상의 패턴은 투사 광학 시스템(12)의 광축 AX에 수직하는 평면(X-Y 평면)에서 웨이퍼(13)를 2차원적으로 구동 제어하면서 벌크 노광 또는 스캔 노광을 수행함으로써 웨이퍼(13)의 각각의 노광 영역상으로 연속적으로 노광된다.

벌크 노광에서, 마스크(11) 패턴은 소위 스텝 및 반복 방법에 따라 웨이퍼(13)의 각각의 노광 영역상으로 벌크 노광된다. 이 경우, 웨이퍼(13)상의 조명 영역의 형상은 거의 정방형이고, 플라이-아이 렌즈(8)의 각각의 렌즈 요소의 단면 형상도 또한 거의 정방형이다.

한편, 스캔 노광에서, 마스크(11) 패턴은 소위 스캔 및 반복 방법에 따라 투사 광학 시스템(12)에 대해 마스크(11) 및 웨이퍼(13)를 이동시키면서 웨이퍼(13)의 각각의 노광 영역상으로 스캔 노광된다. 이 경우, 마스크(11)상의 조명 영역의 형상은 긴 변 길이에 대한 짧은 변 길이의 비, 예를 들어 1 : 3의 비를 갖는 장방형이므로, 플라이-아이 렌즈(8)의 각각의 렌즈 요소의 단면 형상은 이와 유사한 장방형 형상을 갖는다.

도 7은 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)로부터 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면까지의 조명 광학 장치를 개략적으로 도시하는 도면으로, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 및 줌 렌즈(7)의 초점 길이의 관계, 및 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면상에 형성된 환상 조명 필드의 크기 및 형상을 설명한다.

도 7에서, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)의 광축 AX상에 위치하는 마이크로렌즈(4a)의 중심에서 광축 AX를 따라 입사되는 광빔(70)은 광축 AX를 따라 방출된다. 본 실시예에서 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 크기 'a'(정육각형 둘레의 원의 직경에 대응하는 측정치) 및 초점 길이 f1의 마이크로렌즈를 갖는다. 광빔(70)은 무한초점 줌 렌즈(5)를 통과하고 그리고 나서 광축 AX를 따라 회절 광학 요소(6)상에 입사된다.

회절 광학 요소(6)는 광축 AX를 따라 수직으로 입사하는 광빔(70)으로부터 광축 AX에 대해 소정의 각  $\Theta$ 에서 방출되는 광빔(70a)을 형성한다. 회절 광학 요소(6)로부터 각  $\Theta$ 에서 방출되는 광빔(70a)은 초점 길이 f2를 갖는 줌 렌즈(7)를 통해 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에 도달한다. 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면상에서 광빔(70a)의 위치는 광축 AX로부터 높이 y를 갖는다.

한편, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)내의 광축 AX상에 위치하는 마이크로렌즈(4a)의 최상측 에지 상에서 광축 AX에 평행 입사되는 광빔(71)은 광축 AX에 대해 각 t에서 방출된다. 이 광빔(71)은 배율 m을 갖는 무한초점 줌 렌즈(5)를 통과하고, 그 다음에 광축 AX에 대해 각 t'에서 회절 광학 요소(6)상에 입사된다.

광축 AX에 대해 각 t'에서 회절 광학 요소(6)상에 입사되는 광빔(71)은 광축 AX에 대해 각 ( $\Theta+t'$ )에서 방출되는 광빔(71a)을 포함하는 각종 광빔으로 변환된다. 광축 AX에 대해 각 ( $\Theta+t'$ )에서 회절 광학 요소(6)로부터 방출되는 광빔(71a)은 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서 광축 AX로부터의 높이 (y+b)에 도달한다.

또한, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)내의 광축 AX상에 위치하는 마이크로렌즈(4a)의 최하측 에지 상에서 광축 AX에 평행 입사되는 광빔(72)은 광축 AX에 대해 각 t에서 방출된다. 이러한 광빔(72)은 무한초점 줌 렌즈(5)를 통과하고, 그리고 나서 광축 AX에 대해 각 t'에서 회절 광학 요소(6)상에 입사된다.

광축 AX에 대해 각 t'에서 회절 광학 요소(6)상에 입사되는 광빔(72)은 광축 AX에 대해 각 ( $\Theta-t'$ )에서 방출되는 광빔(72a)을 포함하는 각종 광빔으로 변환된다. 광축 AX에 대해 각 ( $\Theta-t'$ )에서 회절 광학 요소(6)로부터 방출되는 광빔(72a)은 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서 광축 AX로부터의 높이 (y-b)에 도달한다.

따라서, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)의 후면 초점면 근처에 형성된 각종 광원으로부터의 확산된 광빔에 의해 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에 도달된 범위는 광축 AX로부터 높이 y 근처에 집광된 2b의 폭을 갖는 범위이다. 즉, 도 7의 (b)에 도시한 바와 같이, 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에 형성된 환상 조명 필드, 및 이에 따른 플라이-아이 렌즈(8)의 후면 초점면에 형성된 환상 2차 광원은 광축 AX로부터 y의 중심 높이 및 2b의 폭을 갖는다.

마이크로 플라이-아이 렌즈(4)로부터의 방출각 t 및 회절 광학 요소(6)상의 입사각 t'는 이하의 수학적 식 (1) 및 (2)로 표현된다.

$$t = a/(2 \times f_1)$$

$$t' = t/m = a/(2 \times f_1 \times m)$$

또한, 환상 2차 광원의 중심 높이 y, 최대 높이 (y+b), 최소 높이 (y-b)는 이하의 수학적 식 (3) 내지 (5)로 표현된다.

$$y = f_2 \times \sin \Theta$$

$$y + b = f_2 (\sin \Theta + \sin t')$$

$$y - b = f_2 (\sin \Theta - \sin t')$$

따라서, 환상 2차 광원의 외경  $\Phi_o$ 에 대한 내측 직경  $\Phi_i$ 의 비에 의해 규정된 환형 비율 A는 이하의 수학적 식 (6)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} A = \Phi_i / \Phi_o &= 2 (y - b) / (2 (y + b)) \\ &= (\sin \Theta - \sin t') / (\sin \Theta + \sin t') \\ &= (\sin \Theta - \sin (a/(2 \times f_1 \times m))) / (\sin \Theta + \sin (a/(2 \times f_1 \times m))) \end{aligned}$$

또한, 환상 2차 광원의 외경  $\Phi_o$ 는 이하의 수학적 식 (7)로 표현된다.

$$\begin{aligned} \omega &= 2(y + b) = 2 \times f_2 (\sin \theta + \sin \theta') \\ &= 2 \times f_2 (\sin \theta + \sin (\alpha / (2 \times f_1 \times m))) \end{aligned}$$

따라서, 수학적 식 (2) 내지 (6)을 참조함으로써 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m이 변화할 때, 그 중심 높이 y를 변화시키지 않고 단지 환상 2차 광원 d1 폭 2b가 변화하는 것을 알 수 있다. 즉, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m을 변화시킴으로써, 환상 2차 광원의 크기(외경  $\Phi_0$ ) 및 형상(환형 비율 A)을 모두 변화시키는 것이 가능하다.

또한, 수학적 식 (3) 내지 (7)을 참조함으로써 줌 렌즈(7)의 초점 길이 f2가 변화될 때, 그 환형 비율 A를 변화시키지 않고 환상 2차 광원의 중심 높이 y 및 폭 2b가 변화하는 것을 알 수 있다. 즉, 줌 렌즈(7)의 초점 길이 f2를 변화시킴으로써, 그 환형 비율 A를 변화시키지 않고, 환상 2차 광원의 외경  $\Phi_0$ 를 변경시키는 것이 가능하다.

상기로부터, 무한초점 줌 렌즈(7)의 배율 m 및 줌 렌즈(7)의 초점 길이 f2를 적절하게 변화시킴으로써 그 외경  $\Phi_0$ 를 변화시키지 않고 단지 환상 2차 광원의 환형 비율 A를 변화시키는 것이 가능하다.

따라서, 환상의 변형 조명을 위해 회절 광학 요소(6) 및 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)가 사용되는 경우, 광원(1)으로부터의 광빔에 근거하여 상당한 광 손실없이 환상 2차 광원을 형성하는 것이 가능하고, 따라서 구경 조리개(9)에서 광 손실을 만족할 정도로 억제하면서 환상의 변형 조명을 성취하는 것이 가능하다.

전술한 바와 같이, 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)는 마이크로 플라이-아이 렌즈(40)로 교체가능하고, 회절 광학 요소(6)는 회절 광학 요소(60)로 교체가능하다. 이와 함께, 마이크로 플라이-아이 렌즈(40) 및 회절 광학 요소(60)는 4극자 변형 조명을 형성하도록 동작한다.

마이크로 플라이-아이 렌즈(40)는, 도 1 및 도 8에 도시한 바와 같이, 정방형의 형상이고, 양의 굴절력을 가지며, 수직 및 수평 방향으로 조밀하게 배치되는 복수의 마이크로 플라이-아이 렌즈(40a)를 포함한다. 따라서, 복수의 광원 이미지는 마이크로 플라이-아이 렌즈(40)의 후면 초점면에 형성되고, 각각의 광원 이미지로부터의 광빔은 무한초점 줌 렌즈(5)상에 입사되는 정방형 단면을 각각 갖는 광빔으로 확산된다. 무한초점 줌 렌즈(5)를 통과하는 광빔은 회절 광학 요소(60)상에 입사된다. 마이크로 플라이-아이 렌즈(40)의 후면 초점면에 형성된 각각의 광원 이미지로부터의 확산된 광빔은 정방형 단면을 유지하면서 회절 광학 요소(60)의 회절 표면상에 수렴된다.

회절 광학 요소(60)는 도 9의 (a)에 도시한 바와 같이, 하나의 사전결정된 방출각에 따라, 광축 AX에 평행하여 수직으로 입사되는 협소한 광빔을 방사상으로 확산된 4개의 광빔으로 변환시킨다. 즉, 광축 AX를 따라 수직으로 입사되는 협소한 광빔은 광축 AX 근처에 집광된 동일한 각도에서 4개의 특정 방향을 따라 확산되어, 4개의 협소한 광빔이 된다. 보다 상세하게는, 회절 광학 요소(60)상에 수직으로 입사되는 협소한 광빔은 4개의 광빔으로 변환되고, 회절 광학 요소(60)에 평행한 후면상의 평면을 통과하는 4개의 광빔의 포인트를 연결하는 사변형은 정방형을 형성하고, 그 정방형의 중심은 회절 광학 요소(60)에 대한 협소한 광빔의 입사축에 위치한다.

따라서, 도 9의 (b)에 도시한 바와 같이, 넓은 평행 광빔은 회절 광학 요소(60)상에 수직으로 입사되고, 4개의 포인트 이미지(포인트 형상 광원 이미지)(92)는 회절 광학 요소(60)의 후면상에 위치하는 렌즈(91)의 초점 위치에 형성된다. 회절 광학 요소(60)상에 입사되는 넓은 평행 광빔이 광축 AX에 대해 기울어질 때, 도 9의 (c)에 도시한 바와 같이, 렌즈(91)의 초점 위치에 형성된 4개의 이미지가 이동한다. 즉, 회절 광학 요소(60)상에 입사되는 넓은 평행 광빔은 특정 평면을 따라 기울어질 때, 렌즈(91)의 초점 위치에 형성된 4개의 포인트 이미지가 특정 평면을 따라 광빔의 기울기 방향과 반대 방향으로 이동한다.

전술한 바와 같이, 마이크로 플라이-아이 렌즈(40)의 후면 초점면에 형성된 광원 이미지로부터의 확산된 광빔은 정방형 단면을 유지하면서 회절 광학 요소(60)의 회절 평면상에 수렴된다. 즉, 복수의 환상 성분을 갖는 광빔이 회절 광학 요소(60)상에 입사되나, 그 입사각은 정방형 원추 광빔 범위에 의해 제한된다. 즉, 정방형 원추 광빔 범위에 의해 결정된 복수의 환상 성분을 갖는 무한수의 광빔이 회절 광학 요소(60)상에 입사되며, 무한수의 포인트 이미지가 렌즈(91)의 초점 위치에 중첩됨에 따라, 도 10에 도시한 이미지와 같은 4극자 이미지가 모두 형성된다. 따라서, 회절 광학 요소(60)를 통과하였던 광빔은 줌 렌즈(7)의 후면 초점면, 및 이에 따른 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서 4극자 조명 필드를 형성한다. 따라서, 입사면에 형성된 조명 필드와 동일한 4극자 2차 광원이 플라이-아이 렌즈(8)의 후면 초점면에 또한 형성된다.

마이크로 플라이-아이 렌즈(4)로부터 마이크로 플라이-아이 렌즈(40)까지, 그리고 회절 광학 요소(6)로부터 회절 광학 요소(60)까지 스위칭하는 것에 따라, 바람직하게는 환상 구경 조리개(9)으로부터 구경 조리개(9a)까지 스위칭이 또한 이루어진다. 예를 들어, 구경 조리개(9a)는 3개의 4극자 구경 조리개(402, 404, 406)중으로부터 선택된 4극자 구경 조리개중 하나이다.

따라서, 4극자 변형 조명을 위해 마이크로 플라이-아이 렌즈(40) 및 회절 광학 요소(60)가 사용되는 경우, 광원(1)으로부터의 상당한 광 손실없이 4극자 2차 광원을 형성하는 것이 가능하고, 따라서 구경 조리개(9a)내의 광 손실을 만족할 정도로 억제하면서 4극자 변형 조명을 성취하는 것이 가능하다.

도 11에 도시한 바와 같이, 환상 2차 광원과 유사한 4극자 2차 광원의 형상 및 크기를 규정하는 것이 가능하다. 이 경우, 마이크로 플라이-아이 렌즈(40)내의 각각의 마이크로렌즈(40a)의 크기는 마이크로렌즈(40a)의 단면 형상인 정방형 둘레의 원의 직경에 대응한다. 따라서, 환상 변형 조명의 경우와 마찬가지로, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m을 변화시킴으로써, 4극자 2차 광원의

환형 비율 A 및 외경  $\Phi_0$ 를 변경시키는 것이 가능하다. 또한, 줌 렌즈(7)의 초점 길이  $f_2$ 를 변화시킴으로써, 그 환형 비율을 변경시키지 않고 4극자 2차 광원의 외경  $\Phi_0$ 를 변경시키는 것이 가능하다. 따라서, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m 및 줌 렌즈(7)의 포컬 길이  $f_2$ 를 변화시킴으로써, 그 환형 비율을 변경시키지 않고 단지 4극자 2차 광원의 환형 비율 A만을 변경시키는 것이 가능하다.

다음에, 조명 광 경로로부터 마이크로렌즈어레이(4 및 40)를 철회하고 회절 광학 요소(6 및 60) 대신에 조명 광 경로내의 환형 조명을 위해 회절 광학 요소(61)를 설정함으로써, 얻어지는 완전 환형 조명의 경우에 대해 설명될 것이다.

이 경우, 장방형 단면을 갖는 광빔이 광축 AX를 따라 무한초점 줌 렌즈(5)상에 입사된다. 무한초점 렌즈(5)상에 입사되는 광빔은 렌즈의 배율에 따라 확대되거나 감소되고, 광축 AX를 따라 무한초점 줌 렌즈(5)로부터 정방형 단면을 여전히 갖는 광빔으로서 배출되며, 회절 광학 요소(61)상에 입사된다.

환형 조명을 위해 회절 광학 요소(61)는 입사 정방형 광빔을 환형 광빔으로 변환하는 기능을 갖는다. 따라서, 회절 광학 요소(61)에 의해 형성된 환형 광빔은 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서 광축 AX 근처에 집광된 환형 조명 필드를 형성한다. 따라서, 광축 AX 근처에 집광된 환형 2차 광원은 또한 플라이-아이 렌즈(8)의 후면 초점면에 형성된다. 이 경우, 줌 렌즈(7)의 초점 길이  $f_2$ 를 변화시킴으로써 환형 2차 광원의 외경을 적절하게 변경시키는 것이 가능하다.

조명 광 경로로부터 마이크로 플라이-아이 렌즈(4 및 40)를 철회하고 조명 광 경로내의 환형 조명을 위해 회절 광학 요소(61)를 설정하는 것에 따라, 바람직하게는 환상 구경 조리개(9) 또는 4극자 구경 조리개(9a)으로부터 환형 구경 조리개(9b)까지의 변화가 또한 이루어진다. 환형 구경 조리개(9b)은 2개의 환형 구경 조리개(407 및 408)중으로부터 선택된 하나의 환형 구경 조리개일 수 있으며, 환형 2차 광원에 대응하는 크기의 개구를 갖는다.

이후, 본 실시예에서 조명을 교체하는 동작이 보다 상세하게 설명될 것이다.

먼저, 스텝 및 반복 방법 또는 스텝 및 스캔 방법에 따라 연속적으로 노광될 각종 유형의 마스크에 관한 정보가 키보드와 같은 입력 수단(20)을 통해 제어 시스템(21)으로 입력된다. 제어 시스템(21)은 각 유형의 마스크에 관한 최적 선폰(해상도) 및 초점 깊이와 같은 내부 메모리 유닛 정보를 저장하고, 입력 수단(20)으로부터의 입력에 따라 제 5 구동 시스템(26)을 통해 제 1 구동 시스템(22)으로 적절한 제어 신호를 공급한다.

즉, 환상 변형 조명이 최적의 해상도 및 초점 깊이를 형성하도록 요구될 때, 제 1 구동 시스템(22)은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 조명 광 경로내의 환상 변형 조명을 위해 마이크로 플라이-아이 렌즈(4)를 위치 지정한다. 또한, 제 3 구동 시스템(24)은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 조명 광 경로내의 환상 변형 조명을 위해 마이크로 플라이-아이 렌즈(6)를 위치 지정한다. 또한, 플라이-아이 렌즈(8)의 후면 초점면에서 원하는 크기(외경) 및 환형 비율을 갖는 환상 2차 광원을 획득하기 위해, 제 2 구동 시스템(23)은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율을 설정하고, 제 4 구동 시스템(235)은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 무한초점 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 설정한다. 부가적으로, 광 손실을 만족할 정도로 억제하면서 환상 2차 광원을 제한하기 위해, 제 5 구동 시스템(26)은 제어 시스템(21)으로부터의 커맨드에 근거하여 터렛을 회전시키고 조명 광 경로내의 원하는 환상 구경 조리개를 위치 지정한다.

이러한 방식에 따르면, 광원으로 부터 실질적 광 손실이 없는 환형(annular)의 2차 광원을 형성할 수 있게 되며, 결과적으로, 구경 조리개(aperture stop : 9)는 실질적 광 손실이 없는 환형(annular)의 수정된 빛을 조명할 수 있게 된다.

또한, 플라이(fly)-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성된 환형의 2차 광원의 크기 및 환형비를 필요에 따라 적절히 조절할 수 있게 되는데, 이러한 조절은 제 2 구동 시스템(23)을 이용하여 무한초점(afocal) 줌 렌즈의 배율을 변환하고, 제 4 구동 시스템(25)을 이용하여 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 변환함으로써 실현된다. 이 경우에, 터렛(turret)은 환형의 2차 광원의 크기 및 환형비의 변환에 따라 회전하며, 소정의 크기 및 환형비를 갖는 환형 구경 조리개(401,403,405)가 조명 광 경로에 선택되고 배치된다.

이러한 방식에 따르면, 환형의 2차 광원의 구조 및 사양에 따른 실질적인 광손실 없이도, 환형의 2차 광원의 크기 및 환형비를 적절히 변환함에 의해 다양한 유형을 갖는 환형의 수정 조명을 수행할 수 있다.

또한, 최적의 해상도 및 초점 깊이를 위해 4극자(quadrupole) 수정 조명이 필요할 경우, 제 1 구동 시스템(22)은 4극자 수정 조명을 위한 마이크로 렌즈 어레이(22)를 조명 광 경로에 배치하고, 제 3 구동 시스템(24)은 4극자 수정 조명을 위한 회절 광학 요소(60)를 조명 광 경로에 배치한다. 또한, 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에서 소정 크기(외부 지름)와 형상(환형비)을 갖는 4극자 2차 광원을 얻기 위해, 제 2 구동 시스템(23)은, 제어 시스템(21)의 명령에 기초하여 무 초점 줌 렌즈(5)의 배율을 설정하고, 제 4 구동 시스템(25)은 제어 시스템(21)의 명령에 기초하여 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 설정한다. 또한, 광 손실을 충분히 억제하면서, 4극자 2차 광원을 제한하기 위해, 제 5 구동 시스템은 제어 시스템(21)로부터의 명령에 기초하여 터렛이 회전되도록 하고, 조명 광 경로에 소정의 4극자 구경 조리개(402,404,406)를 배치한다.

이와 같은 방식에 따르면, 광원(1)으로 부터의 광빔에 기초하여 실질적 광손실이 없는 4극자 2차 광원을 형성할 수 있게 되며, 결과적으로 2차 광원으로 부터의 광빔을 제한하는 구경 조리개에서 실질적 광손실이 없는 4극자 수정 조명을 수행할 수 있게 된다.

또한, 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성된 4극자 2차 광원의 크기 및 환형비를 필요에

따라 적절히 조절할 수 있게 되는데, 이러한 조절은 제 2 구동 시스템(23)을 이용하여 무한초점 줌 렌즈의 배율을 변환하고, 제 4 구동 시스템(25)을 이용하여 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 변환함으로써 실현된다. 이 경우에, 터릿은 4극자 2차 광원의 크기 및 환형비의 변환에 따라 회전하며, 소정의 크기 및 형상을 갖는 4극자 구경 조리개(402,404,406)가 조명 광 경로에 선택되고 배치된다.

이러한 방식에 따르면, 4극자 2차 광원의 구조 및 사양에 따른 실질적 광손실 없이도, 4극자 2차 광원의 크기 및 형상을 적절히 변환함에 의해 다양한 유형을 갖는 4극자 수정 조명을 수행할 수 있다.

또한, 최적의 해상도 및 초점 깊이를 위해 완전 원형 조명이 필요할 경우, 제어 시스템(21)의 제어에 의해, 조명 광 시스템과 유사하게 조정될 수 있다. 이러한 방식에 따르면, 광원(1)으로 부터의 실질적 광 손실이 없는 원형의 2차 광원을 형성할 수 있으며, 결과적으로, 2차 광원으로 부터의 광빔을 제한하는 구경 조리개의 실질적 광 손실이 없는 완전한 원형의 조명을 수행할 수 있게 된다.

상술한 실시예에 의해, 2차 광원을 제한하는 구경 조리개의 광 손실을 충분히 억제하면서, 환형의 수정 조명나 4극자 수정 조명과 같은 수정 조명 및 완전한 원형의 조명을 할 수 있게 된다. 또한, 무 초점 렌즈의 배율 및 줌 렌즈의 초점 길이를 변환하는 간단한 작동을 통해, 구경 조리개의 광 손실을 충분히 억제하면서 수정 조명 및 원형 조명의 파라미터를 변환할 수 있게 된다. 따라서, 수정 조명 유형과 그의 파라미터를 적절히 변환하고, 노광 및 투사(projection)될 세부 패턴에 적합한 투사 광학 시스템의 해상도와 초점 깊이를 얻을 수 있게 된다. 이에 따라, 충분한 노광 조건 및 높은 노광 휘도하에서 처리량이 높은 충분한 투사 노광을 수행할 수 있게 된다.

따라서, 본 발명의 실시예에 있어서, 각진 광빔 형성 요소 및 광빔 형상 변경 요소가 광원 및 광학 인터그레이터 사이의 광 경로에 배치된다. 특히, 각진 광빔 형성 요소는 확산 광빔 형성 요소, 예를들어 광원 수단으로 부터의 평행 광빔을 표준 광축에 대하여 다양한 각도로 확산된 광빔이 나타나는 복수의 광원으로 변환하는 마이크로 플라이-아이 렌즈와 같은 요소를 포함한다. 무한초점 줌 렌즈와 같은 광 시스템은 마이크로 렌즈 어레이에 의해 형성되는 확산된 광빔을 모으고, 광빔 형상 변경 요소로 작용하는 회절 광학 요소로 빔을 유도한다. 따라서, 마이크로 렌즈 어레이와 무한초점 줌 렌즈를 통과하는 광원으로 부터의 실질적 평행 광빔은 표준 광축에 대하여 복수의 각도 성분을 갖는 광빔으로 되고, 회절 광학 요소에 입사된다.

광빔 형상 변경 요소는 회절 광학 요소와 같은 광빔 변경 요소를 포함하며, 회절 광 빔 요소는 얇은 입사 광빔을 방사형으로 확산되는 링형의 광빔 또는 복수의 광빔으로 변환한다. 줌 렌즈와 같은 광 시스템은 회절 광학 요소에 의해 형성되는 링형의 광빔 또는 복수의 광빔으로부터 플라이-아이 렌즈와 같은 광학 인터그레이터의 입사면상의 표준 광축에 편심된 환형의 조명 필드 또는 복수의 조명 필드를 형성한다. 일반적으로, 표준 광축 수단에 편심인 복수의 조명 필드 또는 2차 광원은, 예를들어, 2극 또는 다극(3극, 4극자, ..., 10극 등)의 조명 필드 또는 2차 광원이나, 4극자 조명 필드 또는 2차 광원은 상술한 목적을 위해 형성된다.

마이크로 렌즈 어레이로 된 요소를 형성하는 각진 광빔을 이용함으로써, 회절 광학 요소, 환형 조명 필드, 또는 4극자 조명 필드를 포함하는 광빔 형상 변경 요소가 플라이-아이 렌즈의 입사면에 형성될 수 있다. 결과적으로, 환형 또는 4극자 2차 광원은 플라이-아이 렌즈의 뒤쪽 초점면에 유사하게 형성된다. 이와 같은 방식으로, 플라이-아이 렌즈에 의해 형성되는 환형의 또는 4극자의 2차 광원으로 부터의 광빔이, 2차 광원의 크기 및 형상에 대응하는 구경을 갖는 구경 조리개에 의해 제한되며, 목표 조명면인 마스크에 겹쳐서 조명한다.

상기에서는 반도체 장치가 포토리소그래피(photolithography) 공정과, 투사 노광(exposure light) 장치를 이용한 와이퍼 공정에 의해 제조된 경우가 예시되었으나, 액정표시장치, 박막 자기 헤드 및 이미지 검출기(예를들어 CCD등)가 이러한 노광 장치를 이용한 포토리소그래피 공정에 의해 반도체 장치로 제조될 수 있다.

상술한 실시예에 있어서, 광빔 변경 요소로 작용하는 회절 광학 요소 및 각진 광빔 형성 요소로서 작용하는 마이크로 렌즈 어레이를 구성하여, 예를들어 렌즈 교환 방법을 사용하여 조명 광로에 배치될 수 있다. 또한 종래의 슬라이더(slider) 메카니즘을 이용하여, 상기 마이크로 렌즈 어레이 및 회절 광학 요소를 탑재하거나, 제거 또는 교환할 수 있게 된다.

또한, 상술한 실시예에 있어서, 환형의 수정 조명을 위한 마이크로 렌즈 어레이(4)를 포함하는 마이크로 렌즈(4a)의 형상은 정육각형으로 설정된다. 원형 마이크로 렌즈로 밀집 구조를 이루기가 불가능하기 때문에, 원에 가까운 다각형으로 정 육각형이 선택되었으며, 따라서 광 손실이 발생한다. 그럼에도 불구하고, 환형의 수정 조명을 위한 마이크로 렌즈 어레이(4)의 각 마이크로 렌즈(4a)의 형상은 이것에 한정되지 않으며, 다른 적절한 형상으로 이용될 수 있다. 이와 유사하게, 4극자 수정 조명을 위한 마이크로 렌즈 어레이(40)의 마이크로 렌즈(40a)는 정사각형으로 설정되지만, 직사각형을 포함하는 다른 적절한 형상을 이용해도 된다.

또한, 상술한 실시예에 있어서, 마이크로 렌즈 어레이를 포함하는 각 마이크로 렌즈는 양의 굴절률을 갖을 것으로 가정되었으나, 음의 굴절률을 갖을 수도 있다.

또한, 무 초점 줌 렌즈가 이용되었으나, 무 초점 줌 렌즈(5 또는 7) 대신에 초점 줌 렌즈를 이용하고, 정방향 광빔을 원형의 광빔으로 변환하기 위한 회절 광학 요소를 마이크로 렌즈 어레이의 전면면에 배치해도 된다.

또한, 상술한 실시예에 있어서, 단일의 플라이-아이 렌즈(8)가 이용되었으나, 두 개의 플라이-아이 렌즈를 이용한 2중 플라이-아이 방법을 본 발명에 적용해도 된다.

또한, 원형의 조명을 수행할 경우, 회절 광학 요소(61)가 조명 광 경로에 배치되었으나, 이러한

회절 광학 요소(61)를 사용하지 않아도 된다.

또한, 상술한 실시예에 있어서, 회절 광학 요소가 광빔 변경 요소로 이용되었으나, 이러한 것이 설명을 위한 것이지 이것으로 제한되는 것은 아니다. 또한, 실시예 5와 같이 마이크로 플라이-아이 렌즈 또는 마이크로 프리즘 어레이와 같은 굴절 광학 요소를 이용할 수 있다.

또한, 상술한 실시예에 있어서, 2차 광원의 광 빔을 제한하는 구경 조리개는 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 인접하여 배치된다. 그러나, 그 구조에 있어서, 구경 조리개를 배제하고, 매우 작은 플라이-아이 렌즈를 포함하는 각 렌즈 요소의 절단 영역을 형성하여, 2차 광원으로 부터의 광빔이 완전히 해제될 수 있다.

또한, 상술한 실시예에서는, 본 발명의 예로서, 조명 광 장치에 제공되는 투사 광 장치를 이용하여 설명하였지만, 마스크와는 다른 목표 조명 표면을 균일하게 조명하는 종래의 조명 광 장치를 본 발명에 적용해도 된다.

상술한 실시예에 있어서, 구경 조리개(9) 위치에 형성되는 2차 광원으로 부터의 광은 광-유도 광 시스템으로 작용하는 집광 렌즈(10)에 의해 집광되고, 마스크에 겹쳐서 조명되지만, 조명 필드 구경 조리개(마스크 블라인드(mask blind))와, 마스크(11)상에 이 조명 필드 구경 조리개의 이미지(image)를 형성하는 릴레이 광 시스템이 집광 렌즈(10)와 마스크(11) 사이에 배치될 수 있다. 이 경우, 광 유도 광 시스템은 집광 렌즈(10)를 포함하고, 릴레이 광 시스템, 집광 렌즈(10)는 구경 조리개(9)의 위치에 형성되는 2차 광원으로 부터의 광을 집광하고, 조명 필드 구경 조리개에 겹쳐서 조명한다. 또한 릴레이 광 시스템은 마스크(11)상에 조명 필드 구경 조리개의 구경 이미지를 형성한다.

또한, 상술한 실시예에서는, 파면 분할(또는 분리) 인터그레이터인 플라이-아이 렌즈(8)가 광학 인터그레이터로 이용되나, 내부 반사형(로드형(rod-type)) 인터그레이터(즉, 광 파이프, 광 터널, 그래스 로드(grass rod) 등)가 광학 인터그레이터로 이용될 경우, 시스템은 후술하는 바와 같이 구성된다. 즉, 집광 시스템이 줌 렌즈(7)의 하류측에 부가되어 회절 광 시스템(6)에 컬레 표면을 형성한다. 또한, 로드형 인터그레이터가 배치되어, 입사 에지(edge)가 이 컬레 평면에 이웃하여 배치된다. 또한 릴레이 광 시스템이 배치되어, 방출 표면 또는 이 로드형 인터그레이터의 방출 표면에 배치된 조명 필드 구경 조리개의 이미지를 마스크(11)상에 형성함이 바람직하다. 이러한 구조에 있어서, 제 2 기설정 평면은 줌 렌즈(7)와 상술한 집광 시스템의 복합 시스템의 동공면상에 형성되며, 2차 광원은 릴레이 광 시스템의 동공면상에 형성된다(2차 광원의 가상 이미지는 로드형 인터그레이터의 입사측에 이웃하여 형성된다.). 이 경우에, 로드형 인터그레이터에서 마스크(11)로 광빔을 유도하는데 이용되는 릴레이 광 시스템은 광 유도 광 시스템으로 된다.

(실시예 2)

도 12는 조명 광 시스템에 대한 도면으로, 광빔 형상 변경 요소가 광빔 형성 요소의 상류측에 배치된다. 즉, 도 12에 도시된 실시예에서는, 광빔 형상 변경 요소와 각고 광빔 형성 요소의 배치 관계가 도 1의 실시예와는 반대로 되어 있다.

도 12에 도시된 시스템은 도 1과 여러 가지 면에서 유사하기 때문에, 요소, 기능 등이 동일한 경우에는 설명을 생략한다.

빔 확산기(2)에 의해 전달되는 광빔은 밴딩 미러(3)에 의해 Y방향으로 편향되어 원추형의 프리즘(6)에 입사한다. 원추형 프리즘(6)의 마스크(11)측 표면(도면에서는 오른쪽 표면)이 광축AX에 수직인 평면 형상으로 형성된다. 원추형 프리즘(6)의 광원(1)측 표면(도면에서는 왼쪽 표면)은 원추형의 오목한 면을 갖는다. 특히, 원추형 프리즘(6)의 광원(1)측 굴절 표면은 광축AX에 대하여 콘(cone) 대칭을 이룬다. 따라서, 원추형 프리즘에 입사되는 광빔은 광축AX를 중심으로 하여 동일 각도를 이루는 모든 방향을 따라 굴절되며, 무한초점 줌 렌즈(5)에 입사된다. 이러한 방식에 있어서, 원추형 프리즘(6)은 광원(1)으로 부터의 광빔을 실질적인 환형의 광빔으로 확산하는 광빔 형상 변경 요소(member)를 포함한다.

도 12에 있어서, 원추형 프리즘(6)의 원추형의 오목한 면이 광원(1)측과 마주보고 있으나, 원추형 프리즘(6)의 오목한 면이 마스크(11)측과 마주보게 배치할 수도 있다. 또한, 원추형 프리즘(6)을, 다른 광빔 형상 변경 요소인 피라미드형 프리즘(6a)으로 교체할 수 있다. 이 피라미드형 프리즘(6a)의 구성 및 작용은 후술하는바와 같다.

도 1에 도시된 실시예와 유사하게, 무한초점 줌 렌즈(5)가 적용되어, 무한초점 시스템을 유지하면서, 기설정된 범위내에서 배율을 연속적으로 변환할 수 있다.

제어 시스템(21)으로 부터의 명령에 기초하여 작동하는 구동 시스템(22)에 의해, 원추형 프리즘과 피라미드형 프리즘(6a)이 교체된다. 또한, 줌 구동 시스템(23)은 제어 시스템(21)로 부터의 명령에 기초하여 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율이 변환된다. 프리즘(6)에서 무 초점 줌 렌즈(5)로 입사되는 광빔은 렌즈(5)의 동공면에서 링형의 광원 이미지를 형성한다. 링형의 광원 이미지는 실질적으로 병렬의 광빔을 형성하고, 무 초점 줌 렌즈(5)에서 방출되어 제 1 플라이-아이 렌즈(4, 각진 광빔 형성 요소)에 입사되며, 제 1 플라이-아이 렌즈는 제 1 광학 인터그레이터로 작용한다. 광축AX에 대하여 실질적으로 대칭인 사선 방향으로 부터의 광빔은 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 입사된다. 다시말해, 광빔은 광축AX을 중심으로 하여 동일 각도를 이루는 모든 방향을 따라 경사지게 입사된다.

제 1 플라이-아이 렌즈(4)는 예를들어 복수개의 렌즈 요소를 포함하며, 각 렌즈 요소들은 정단면과 양의 굴절력을 가지며, 광 축AX를 따라 수평 및 수직하게 배열된다. 각 렌즈 요소의 입사측 표면은 입사면과 마주보는 면이 볼록면인 구면 형상으로 형성되고, 방출측 표면은 평단면으로 형성된다.

따라서, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)에 입사된 광빔은 복수의 렌즈 요소에 의해 2차원적으로 분할되고, 하나의 링형 광원 이미지는 각 렌즈 요소의 뒤쪽 초점면에 형성된다. 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성되는 복수의 링형 광원 이미지로 부터의 광빔은 줌 렌즈(7)를 통과하여, 2차 광학 인터그레이터로 작용하는 제 2 플라이-아이 렌즈(8)에 겹쳐서 조명된다. 줌 렌즈(7)는 릴레이 광 시스템이며, 여기에서, 릴레이 광 시스템은 기설정된 범위내에서 초점 길이를 연속적으로 변환할 수 있으며, 광 컬레로서, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 뒤쪽 초점면과 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면을 링크 접속한다. 또한, 줌 렌즈(7)는 뒤쪽에 원격 중심 광 시스템을 포함한다. 상술한 컬레관계 및 원격 중심을 만족하기 위해, 줌 렌즈(7)를 독립적으로 운동할 수 있는 적어도 3개의 줌 렌즈 그룹을 갖는 다중 그룹 줌 렌즈로 구성함이 바람직하다. 제어 시스템(21)로 부터의 명령에 기초하여 작동하는 줌 구동 시스템(24)을 통해, 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 변환할 수 있다.

따라서, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서 조명 필드가 형성된다. 이 조명 필드는, 제 1 플라이-아이 렌즈의 각 렌즈 요소의 단면 형상과 유사한 정방형 형상을 가지는 무한히 많은 조명 필드가 광축AX와 등축인 위치에 배열되는 형상을 가지며, 광축AX를 중심으로 하는 환형의 조명 필드라고 한다.

제 2 플라이-아이 렌즈(8)는 복수의 렌즈 요소를 포함한다. 각 렌즈 요소는 양의 굴절력을 가지며, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)처럼 광축 AX를 따라 수평 및 수직 방향으로 배열된다. 그러나, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)를 포함하는 각 렌즈 요소는 마스크상에 형성될 조명 필드의 형상과 유사한 직사각형의 단면을 갖는다(또한, 이것은 웨이퍼상에 형성될 노광 영역의 형상과 유사하다). 또한, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 각 렌즈 요소의 입사측 표면은 입사면에 마주하는 볼록면을 갖는 구면 형상 또는 비구면 형상이며, 방출측 표면은 방출측에 마주하는 볼록면을 갖는 구면 형상 또는 비구면 형상으로 형성된다.

따라서, 제 2 플라이-아이 렌즈에 입사된 광빔은 복수의 렌즈 요소에 의해 2차원적으로 분할되며, 복수의 광원 이미지 각각은 광빔이 입사하는 각 렌즈 요소의 뒤쪽 초점면에 형성된다. 이러한 방식에 있어서, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)에 입사하는 광빔에 의해 형성되는 조명 필드로서의 동일한 환형 형상의 복수의 광원(이하에서는 '2차 광원'이라함)이 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성된다.

제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성되는 환형의 2차 광원으로 부터의 광빔은 구경 조리개(9)에 입사된다. 이 구경 조리개(9)는 광축AX에 병렬인 기설정 축에 대하여 회전하는 터릿위에 지지된다. 터릿은 도 6에 도시되고 상기에서 설명된 터릿과 동일하거나 유사하게 구성될 수 있다.

도 12에 있어서, 환형의 2차 광원은 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성되고, 이어서, 구경 조리개처럼, 환형의 구경 조리개(401,403,405)중에서 하나의 환형의 구경 조리개를 선택함이 바람직하다. 그러나, 도 6에 도시된 터릿에 있어서, 터릿 위에 배치된 구경 조리개의 형태나 개수, 또는 회전하는 터릿을 구경 조리개(9)로 이용하는 구성은 단지 설명을 위한 것이지, 이것으로 한정되는 것은 아니다.

환형 구경(광 전달 영역)을 갖는 구경 조리개(9)를 통과하는 2차 광원으로 부터의 광은 집광 시스템(10)에 의해 집광되고, 겹치기 방식으로 마스크(11)에 균일하게 조명된다. 마스크(11)상의 패턴을 통과하는 광빔은 투사 광학 시스템(12)를 경유하여 웨이퍼(13)상의 마스크(11) 패턴의 이미지를 형성한다.

도 13은 원추형 프리즘(6)에서 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면까지의 조명 광 시스템에 대한 도면이 도시된다.

도 13(a)에 도시된 바와 같이, 원추형의 프리즘(6)에 의해 광축AX를 중심으로 하여 동일한 각도  $\alpha$  를 이루는 모든 방향을 따라 편향되는 광빔은 배율M1을 갖는 무한초점 줌 렌즈(5)를 통과하여, 광축AX를 중심으로하여 동일한 각도  $\theta_1$  을 이루는 모든 방향을 따라 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 경사지게 입사된다. 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 형성되는 조명 필드의 크기는 d1이다.

도 13(b)에 도시된 바와 같이, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율이 m1에서 m2로 변환될 경우에, 원추형의 프리즘(6)에 의해, 광축AX를 중심으로 동일한 각도  $\alpha$  를 갖는 모든 방향을 따라 편향되는 광빔은 배율 m2를 가지는 무한초점 줌 렌즈(5)를 통과하여, 광축AX를 중심으로하여 동일 각도( $\theta_2$ )를 가지는 모든 방향을 따라 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 경사지게 입사된다. 이 시점에서, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 형성되는 조명 필드의 크기는 d2이다.

제 1 플라이-아이 렌즈의 입사면상의 광빔의 입사 각도  $\theta_1, \theta_2$  와, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 형성되는 조명 필드의 크기 d1, d2와, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m1, m2의 관계가 아래의 수학식 8 및 9에 나타난다.

$$e2 = (m1 / m2) \times e1$$

$$d2 = (m2 / m1) \times d1$$

수학식 8을 참조하면, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율m을 연속적으로 변환함으로써, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면상의 광빔의 입사각  $\theta$  을 연속적으로 변환할 수 있음을 알수 있을 것이다.

도 14는 제 1 플라이-아이 렌즈(4)에서 구경 조리개(9)까지의 조명 광 시스템을 나타낸 도면이다.

도 14(a)에 있어서, 기설정 방향으로부터 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 기설정 각도로 입사하는 광빔은 각 렌즈 요소를 통과하여, 동일한 각도를 유지하면서 줌 렌즈(7)에 경사지게 입사한다. 따라서, 광축 AX에서 기설정 거리만큼 벗어나 위치에 있는 기설정 너비를 갖는 조명 필드는, 도면에 실선으로 나타나 있는바와 같이, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에 형성된다.

실제적으로, 도면에서 점선으로 나타난바와 같이, 광빔은 광축AX에 대칭인 경사 방향에서 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 입사된다. 다시말해, 광빔은 광축AX를 중심으로 동일한 각도를 갖는 모든 방향을 따라 입사한다. 따라서, 도 14(b)에 도시된 바와 같이, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서, 광축AX를 중심으로 하는 환형의 조명 필드가 형성된다. 또한, 입사면에 형성된 조명 필드처럼, 환형의 2차 광원은 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성된다. 다른 한편, 상술한 바와 같이, 환형의 2차 광원에 대응하는 환형 구경(도 14(c)의 백색 부분)은 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 인접하여 배치된 환형의 구경 조리개(9)에 형성된다.

이와 같은 방식에 있어서, 원추형 프리즘(6)이 광빔 형상 변경 요소로 이용될 경우, 실제적인 광손실이 없는 환형의 2차 광원을 형성할 수 있게되며, 결과적으로, 구경 조리개(9)에서 실제적인 광손실이 없는 환형의 수정된 조명을 수행할 수 있게된다.

도 15는 원추형 프리즘(6)에서 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면까지의 조명 광 시스템을 나타낸 도면이 도시된다. 도 15는 무 초점 줌 렌즈(5)의 배율과 줌 렌즈(7)의 초점 길이간의 관계, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에 형성되는 환형의 조명 필드의 크기 및 형상을 설명하기 위한 것이다.

도 15에 있어서, 원추형 프리즘으로부터 방출되는 광빔의 중앙 광선은 배율m을 갖는 무 초점 줌 렌즈(5)를, 광축AX를 중심으로 부터 각도  $\alpha$ 로 통과하여, 광축으로 부터 각도  $\theta$ 로 제 1 플라이-아이 렌즈(4)에 입사된다. 제 1 플라이-아이 렌즈(4)는 크기 'a' 및 초점 길이 'f1'을 갖는 렌즈 요소를 포함한다. 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 렌즈 요소로 부터 각도  $\theta$ 를 갖고 방출하는 중앙 광선은 초점 길이가 fr인 줌 렌즈를 경유하여 제 2 플라이-아이 렌즈에 도달한다. 이 시점에서, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서의 광빔의 입사 범위는 광축AX로부터 높이y지점을 중심으로 너비b를 갖는 범위이다. 이것은 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에 형성된 조명 필드와, 이에 따른 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 뒤쪽 초점면에 형성된 2차 광원이, 도 14(b)에 도시된 바와 같이, 광축으로부터 높이y를 가지며, 너비가 b임을 나타낸 것이다.

원추형 프리즘(6)으로 부터의 방출각  $\alpha$ 와 제 1 플라이-아이 렌즈(4)상의 입사각  $\theta$ 은 다음의 수학적식 10과 같은 관계가 있다.

$$\theta = (1 / m) \times \alpha$$

또한, 환형의 2차 광원의 높이y와 너비b는 각각 수학적식 11과 12에 의해 나타낼수 있다.

$$y = fr \times \sin \theta$$

$$b = (fr / f1) \times a$$

따라서, 환형의 2차 광원의 내경  $\phi_i$ 와 외경  $\phi_o$ 의 비에 의해 규정된 환형비A는 수학적식 13과 같이 나타낼수 있다.

$$A = \phi_i / \phi_o = (2y - b) / (2y + b) \\ = \{2fr \times \sin(\alpha / m) - a\} / \{2fr \times \sin(\alpha / m) + a\}$$

또한, 환형의 2차 광원의 외경  $\phi_o$ 은 수학적식 14에 의해 나타낼수 있다.

$$\phi_o = 2y + b = fr \{2 \sin(\alpha / m) + a / f1\}$$

수학적식 14를 변환하면, 수학적식 15를 얻을 수 있다.

$$fr = \phi_o / \{2 \sin(\alpha / m) + a / f1\}$$

따라서, 수학적식 10과 11을 참조하면, 줌렌즈(7)의 초점 길이fr의 변환없이 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율이 변환되는 경우에, 환형의 2차 광원의 너비b의 변환없이 높이y가 변환됨을 알수 있을 것이다. 그것은, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율을 변환함에 의해, 환형의 2차 광원의 너비b의 변환없이, 그의 크기(외경  $\phi_o$ )와 형상(환형비A)을 변환할 수 있음을 나타낸다.

또한, 수학적식 11 및 12를 참조하면, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율m의 변환없이 줌렌즈(7)의 초점 길이fr을 변환할 경우, 환형의 2차 광원의 너비b와 높이y가 초점 길이fr에 비례하여 변환함을 알수 있을 것이다. 그것은, 줌 렌즈(7)의 초점 길이fr만을 변환함에 의해, 환형의 2차 광원의 형상(

환형비A)의 변환없이, 환형의 2차 광원의 크기(외경 $\psi_0$ )을 변환할 수 있음을 나타낸다.

또한, 수학적 식 13과 15를 참조하면, 임의 크기의 외경 $\psi_0$ 에 대한 수학적 식 15의 관계를 만족시키기 위해, 무 초점 줌 렌즈(5)의 배율m과 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 변환함에 의해, 환형의 2차 광원의 크기(외경 $\psi_0$ )의 변환없이 그의 형상(환형비A)만을 변환할 수 있음을 알 수 있을 것이다.

이하에서는, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율m과 줌 렌즈(7)의 초점 길이fr을 변환하여, 환형의 2차 광원의 크기(외경 $\psi_0$ )의 변환없이 그의 형상(환형비A)를 변환하는 경우에 대해, 특정의 수치적 예에 따라 설명한다.

제 1 수치적 예에 있어서, 원추형 프리즘(6)에 의한 굴절각 $\alpha$ 이  $7^\circ$  이고, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 각 렌즈 요소의 크기 'a'가 2.5mm이고, 각 렌즈 요소의 초점 길이f1이 50mm라고 하자. 또한, 환형의 2차 광원의 외경 $\psi_0$ 을 96mm로 설정되고, 그 값이 상수라면, 환형의 2차 광원의 환형비A를 대략 0.24에서 부터 0.95 범위로 변환하는데 필요한 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율m과 줌 렌즈(7)의 초점 길이fr을 알 수 있다. 테이블(1)에는 제 1 수치적 예에 따른, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율m과, 환형의 2차 광원의 환형비, 및 줌 렌즈(7)의 초점 길이fr간의 대응관계가 나타나 있다.

[표 1]

m	A	fr
0.1	0.94817	49.75678
0.2	0.916468	80.19026
0.3	0.881258	113.9927
0.4	0.846487	147.3723
0.5	0.812679	179.8279
0.6	0.779947	211.2513
0.7	0.748299	241.6332
0.8	0.717711	270.9975
0.9	0.688146	299.3801
1.0	0.659561	326.8211
1.1	0.631915	353.3616
1.2	0.605165	379.0419
1.3	0.57927	403.901
1.4	0.554191	427.9763
1.5	0.529893	451.3031
1.6	0.506338	473.9151
1.7	0.483496	495.8439
1.8	0.461334	517.1198
1.9	0.439822	537.7711
2.0	0.418933	557.8247
2.1	0.39864	577.3059
2.2	0.378918	596.2387
2.3	0.359744	614.6459
2.4	0.341095	632.549
2.5	0.32295	649.9682
2.6	0.305289	666.9228
2.7	0.288092	683.4313
2.8	0.271343	699.5108
2.9	0.255023	715.1778
3.0	0.239117	730.448

표 1을 참조하면, 환형비(annular ratio) A를 0.5 정도에서 0.69 정도로 변경하기 위해서는 단지 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m을 1.6 정도에서 0.9 정도로 변경하고 줌 렌즈(7)의 초점 거리 fr을 474mm 정도에서 300mm 정도로 변경할 필요가 있다.

전술한 바와 같이, 원추형 프리즘(6)은 피라미드형 프리즘(6a)과 상호변경가능하다. 원추형 프리즘(6) 대신에 피라미드형 프리즘(6a)이 조명광 경로 내에 설치된 경우에 대해 설명한다.

피라미드형 프리즘(6a)의 경우, 마스크측 표면은 광축 AX에 대해 수직인 평면 형상을 갖는다. 또한, 광원측 표면은 4개의 회절면을 가지며 광원(1)과 마주하는 전체적으로 피라미드형인 함몰부로 형성된다. 4개의 회절면은 정점이 광축 AX상에 존재하는 X축 및 Z축을 따라 4개의 릿지(ridge) 라인을 갖는 정방형 피라미드의 피라미드형 표면(기저면을 가지지 않는 측면)에 해당한다. 즉, 4개의 회절면은 광축 AX에 대해 대칭인 정방형 피라미드의 피라미드형 표면에 해당한다. 원추형 프리즘(6)의 경우와 마찬가지로, 피라미드형 프리즘(6a)은 피라미드형 함몰부가 마스크(11)와 마주하도록 위치될 수도 있다.

피라미드형 프리즘(6a)이 조명광 경로에 위치할 때, 피라미드형 프리즘(6a)에 입사하는 광빔은 광축 AX에 그 중심을 둔 동일한 각도로 4개의 소정 방향으로 반사되어, 무한초점 줌 렌즈(5)로 입사한다. 이러한 방식에서, 피라미드형 프리즘(6a)은 광원(1)으로부터의 광빔을 광축 AX에 편심된

4개의 광빔으로 변경하는 광빔 형상 변경 요소를 포함하고 있다. 무한초점 줌 렌즈(5)로 입사하는 광빔은 렌즈(5)의 pupils plane)상에 4개의 점 형상 광원 이미지를 형성한다. 이러한 경우, 4개의 점 형상 광원 이미지와 결합하는 사변형은 X축 및 Z축과 평행한 면을 가지며 중심이 광축 AX에 위치한 정방형을 형성한다. 이러한 4개의 점 형상 광원 이미지로부터의 광은 거의 평행한 광빔으로서 무한초점 줌 렌즈(5)로부터 나와 제 1 플라이-아이 렌즈(4)에 입사된다. 여기서, 광축 AX에 대해 거의 대칭적인 경사 방향으로부터의 광빔은 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면에 입사된다. 보다 상세하게, 광빔은 동일한 각도로 4개의 특정 방향으로 경사지며, 그 중심은 광축 AX에 위치한다.

따라서, 4개의 점 형상 광원 이미지는 각각 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 각 렌즈 요소의 후면측 초점면에 형성된다. 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 후면측 초점면에 형성된 복수의 점 형상 광원 이미지로부터의 광빔은 줌 렌즈(7)를 통과하며, 그 후 제 2 플라이-아이 렌즈(8)를 중첩되게 조명한다. 따라서, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서, 광축 AX에 대해 4개의 대칭적인 방사 방향을 따라 동일한 거리로 외부로 편심된(평행 이동된) 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 각 렌즈 요소의 단면 형상과 유사한 4개의 정방형 조명 영역이 형성된다. 그 결과, 도 16의 (a)에 도시한 바와 같이, 4개의 2차 광원(도 16의 (a)에서 빗금친 부분)이 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 후면측 초점면에 형성된다.

원추형 프리즘(6)에서 피라미드형 프리즘(6a)으로의 스위치와 연계하여, 바람직하게는 환형 구경 조리개(9)로부터 개구 조리개(9a)로의 스위치가 형성된다. 개구 조리개(9a)는 3개의 4 구경 조리개(402, 404, 406)로부터 선택되는 하나의 4 구경 조리개이다. 도 16의 (b)에 도시된 바와 같이, 4개의 광원 내부에 도입될 수 있는 원 사이즈를 갖는 4개의 원형 개구(도 16의 (b)에서 백색 영역으로 도시되는 부분)는 4 구경 조리개(9a)내에 형성된다. 또한, 도 16의 (c)에 도시된 바와 같이, 1/4 원의 형상(도 16의 (c)에서 백색 영역으로 표시된 부분)의 4개의 개구를 갖는 4 구경 조리개(9)를 사용할 수가 있다.

이러한 방식에서, 피라미드형 프리즘(6a)이 광빔 형상 변경 요소로서 사용된다고 하더라도, 실질적인 광 손실이 없이도 제 2의 4극 광원을 형성할 수가 있으며, 그 결과 구경 조리개(9a) 내에서 광 손실을 만족스럽게 억제하면서 4극 변형 조사를 달성할 수가 있다.

또한, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m만을 변경함으로써, 제 2의 4극 광원내의 4개의 정방형 광원의 광 중심의 위치를 변경할 수가 있다. 다시 말해서, 제 2의 4극 광원의 폭을 변경하지 않고도 그 사이즈 및 형상을 변경할 수가 있다. 도 16의 (a)에서 점선으로 도시된 바와 같이, 환형의 2차 광원과 마찬가지로 제 2의 4극 광원의 사이즈 및 형상을 규정할 수가 있다. 제 2의 4극 광원의 환형비는 비율  $\phi_i/\phi_o$ 에 기초하여 규정될 수 있다. 이러한 경우, 제 2의 4극 광원의 폭 b는 소형 원의 직경  $\phi_i$ 과 대형 원의 직경  $\phi_o$ 간의 차이의 절반으로 규정된다.

또한, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변경함으로써, 제 2의 4극 광원의 형상(환형비)을 변화시키지 않고도 그 사이즈만을 변경할 수가 있다. 또한, 소정의 관계를 만족시키기 위해 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m과 줌 렌즈(7)의 초점 거리 fr을 변경함으로써, 제 2의 4극 광원의 사이즈를 변경하지 않더라도 그 형상만을 변경할 수가 있다.

한편, 원추형 프리즘(6)이 조명광 경로로부터 제거되는 경우, 정방형 단면을 갖는 광빔은 무한초점 줌 렌즈(5)상으로 광축 AX를 따라 입사된다. 무한초점 줌 렌즈(5)에 입사하는 광빔은 렌즈의 배율에 따라 감소되거나 확대되며, 무한초점 줌 렌즈(5)로부터 광축 AX를 따라 방출되지만 정방형 단면을 유지하며, 다음에 제 1 플라이-아이 렌즈(4)로 입사된다. 따라서, 하나의 점 형상 광원 이미지는 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 각 렌즈 요소의 후면측 초점면에 형성된다. 또한, 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 입사면에서, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 각 렌즈 요소의 단면 형상과 마찬가지로 광축 AX에 중심이 형성된 정방형 조명 영역이 형성된다. 그 결과, 광축 AX에 중심이 형성된 제 2의 정방형 광원은 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 후면측 초점면에 형성될 수 있다.

조명광 경로로부터 원추형 프리즘(6)을 제거하는 것과 연계하여, 환형 구경 조리개(9)는 바람직하게도 원형 구경 조리개(9b)와 서로 교환가능하다. 원형 구경 조리개(9b)는 두개의 원형 구경 조리개(407, 408)로부터 선택되며, 제 2의 정방형 광원 내에 거의 내접될 수 있는 구경 사이즈를 갖는다.

이러한 방식에서, 실질적인 광 손실없이 제 2의 정방형 광원을 형성할 수가 있고, 구경 조리개내에서의 광 손실을 만족스럽게 억제하면서 일정한 원형 조명을 달성할 수가 있다.

이러한 경우, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m 또는 줌 렌즈(7)의 초점 거리 fr을 변경함으로써, 제 2의 정방형 광원의 사이즈를 적절하게 변경할 수가 있다.

전술한 실시예의 경우, 광빔 형상 변경 요소는 광원과 각형(angular) 광빔 형성 요소 간의 광로 내에 위치된다. 광빔 형상 변경 요소는 광원으로부터의 광빔을, 표준 광축에 대해 거의 대칭적인 경사 방향으로부터 각형 광빔 형성 요소상으로 입사하는 광빔으로 변환시킨다. 특히, 광빔 형상 변경 요소는 원추형 프리즘 혹은 피라미드형 프리즘을 포함할 수 있지만, 전술한 바와 같은 회절 광학 요소를 사용할 수도 있다.

광빔 형상 변경 요소에 의해 그 형상이 변경된 광빔은 집광 광학 시스템에 의해 집광되며, 표준 광축에 대해 거의 대칭적인 경사 방향으로부터 각형 광빔 형성 요소로 중첩되게 입사한다. 이러한 방식에서, 제 1 다중 광원은 각형 광빔 형성 요소에 의해 형성된다. 제 1 다중 광원으로부터의 광빔은 릴레이 광학 시스템에 의해 집광되어 광학 인터그레이터(optical integrator)로 안내된다. 그 결과, 광학 인터그레이터를 사용하는 2차 광원과 같은 제 2 다중 광원으로서 표준 광축에 편심된 환형 광원 또는 복수의 광원을 형성할 수가 있다.

여기서, 원추형 프리즘이 광빔 형상 변경 요소로서 사용될 경우, 환형 광원이 형성되며, 피라미드

형 프리즘이 사용될 경우 광축에 편심된 복수의 광원이 형성된다. 특히, 4개 측면의 피라미드형 프리즘(이후, 간단히 피라미드형 프리즘으로 지칭됨)이 피라미드 프리즘으로서 사용될 경우, 표준 광축에 대해 대칭적으로 편심된 4개의 광원으로 구성된 2차 광원, 즉 제 2의 4극 광원이 형성된다. 이러한 방식으로, 광학 인터그레이터에 의해 형성된 제 2의 4극 광원 또는 제 2의 환형 광원으로부터의 광빔은 바람직하게는 2차 광원의 사이즈 및 형상에 대응하는 개구를 갖는 구경 조리개에 의해 제한된 후 타겟 조명면을 조명한다. 또한, 다면(예컨대, 8면(a eight-sided)) 피라미드형 프리즘을 피라미드형 프리즘으로서 이용하는 것도 가능하다.

또한, 본 실시예에 따르면, 집광 광학 시스템은 가변 배율의 줌 광학 시스템을 포함할 수 있으며, 줌 광학 시스템의 배율을 변경함으로써, 2차 광원으로서 형성된 환형 광원의 환형비를 변경하거나 제 2 다중 광원으로서 형성된 복수의 광원의 각각의 광 중심의 위치를 변경할 수가 있다. 또한, 각형 광빔 형성 요소와 광학 인터그레이터 간의 광로내에 위치한 릴레이 광학 시스템이 가변 배율의 줌 광학 시스템을 포함한다면, 줌 광학 시스템의 줌 배율을 변경함으로써 제 2의 다중 광원의 사이즈를 변경할 수가 있다.

(실시예 3)

도 17은 본 발명에 따른 실시예 3의 조명 광학 시스템을 개략적으로 도시한 도면이다. 또한, 도 18 및 도 19는 이 실시예의 회절 광학 요소의 동작을 설명하는데 사용된다. 이 실시예 및 아래의 그 변형예와 관련한 도면(도 17, 도 21, 도 22)에서, 입력 수단(20), 제어 시스템(21), 광빔 형성 상변경 요소 구동 시스템(22), 줌 구동 시스템(23, 24), 터릿(turret) 구동 부재(25)(도 12에는 존재하지 않음)는 생략된다.

실시예 3은 실시예 2와 유사한 구성을 갖는다. 그러나, 유일한 기본 차이는, 이 실시예에서 회절 광학 요소가 광빔 형성 상변경 요소로서 사용된다는 것이다. 따라서, 도 17에서, 실시예 1 및 실시예 2의 요소들과 동일한 기능을 갖는 요소들은 도 1과 동일한 참조 번호를 갖는다.

빔 신장기(2)를 통과하는 광빔은 폴딩 미러(3)에 의해 편향되어 회절 광학 요소(6b)로 입사된다. 이 실시예의 회절 광학 요소(6b)는 글래스 기판상에 형성된 노광광(조명광)의 파장 정도의 피치를 갖는 2 또는 복수 레벨(또는 스텝)을 포함하며, 소정의 각도로 입사빔을 회절시킨다. 특히, 도 18의 (a)에 도시된 바와 같이, 광축 AX을 따라 회절 광학 요소(6b)에 직교 입사하는 협폭의 광빔은 광축 AX에 중심을 두고 동일한 각도로 전 방향으로 회절되며, 링 형상의 빔을 형성한다. 따라서, 정방형 단면의 평행빔이 광축 AX을 따라 회절 광학 요소(6b)에 입사될 때, 도 18의 (a)에 도시된 바와 같은 환형빔이 발생된다. 따라서, 회절 광학 요소(6b)는 광원(1)으로부터의 광빔을 환형 광빔으로 회절시키는 광빔 형성 상변경 요소를 구성한다.

다시 말해서, 회절 광학 요소(6b)는, 광축 AX을 따라 직교 입사하는 빔을 광축 AX에 중심을 두고 동일한 각도로 전 방향으로 편향시킬 경우 원추형 프리즘(6)과 동일한 동작을 갖는다. 그러나, 원추형 프리즘(6)이 입사하는 모든 광빔을 광축 AX을 따라 광축 AX에 중심을 두고 동일한 각도로 전 방향으로 편향시킬 때, 회절 광학 요소(6b)는 입사광빔을 포함하는 각각의 빔을, 그의 입사축(광축 AX에 평행한 축)에 중심을 두고 동일한 각도로 전 방향으로 편향시킨다. 따라서, 무한 초점 줌 렌즈(5)는 회절 광학 요소(6b)와 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면이 거의 광학적으로 접합하도록 구성된다.

이러한 방식에서, 실시예 2와 마찬가지로, 링 형상 광원 이미지는 무한초점 줌 렌즈(5)의 pupils plane( pupils plane)에 형성된다. 또한, 무한초점 줌 렌즈(5)로부터 방출하는 거의 평행한 광빔은 광축 AX에 중심을 두고 동일한 각도로 전 방향의 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면상으로 입사한다. 그 결과, 제 2의 환형 광원은 실질적인 광 손실없이 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 후면측 초점면에 형성된다. 또한, 대부분의 광손실은 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 후면측 초점면에 인접하게 위치한 구경 조리개(9)에서 발생하지 않는다. 또한, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율  $m$  및 줌 렌즈(7)의 초점 거리  $f_r$ 를 적절하게 변경함으로써, 실시예 1과 마찬가지로 제 2 환형 광원의 사이즈 및 형상(환형비)을 변경할 수가 있다.

실시예 3에서, 회절 광학 요소(6b)는 또다른 회절 광학 요소(6c)와 상호 변경가능하다. 회절 광학 요소(6b)가 조명 광로에서 제거될 경우, 실시예 2에서 원추형 프리즘(6)과 피라미드형 프리즘(6a)이 제거될 때와 마찬가지로 일정한 원형 조명을 달성할 수가 있다. 회절 광학 요소(6b) 대신에 회절 광학 요소(6c)가 조명 광로내에 설치되는 경우가 후술된다.

회절 광학 요소(6c)가 광빔 형성 상변경 요소로 사용될 때, 광축 AX을 따라 직교 입사하는 협폭 빔은 광축 AX에 중심을 두고 동일한 각도로 4개의 특정 방향으로 회절되며, 도 19의 (a)에 도시된 바와 같이 4개의 협폭 빔을 형성한다. 따라서, 정방형 단면을 갖는 평행빔이 광축 AX을 따라 회절 광학 요소(6c)로 입사될 경우, 도 19의 (b)에 도시된 바와 같은 4극 광빔이 발생된다. 따라서, 회절 광학 요소(6c)는 광원(1)으로부터의 광빔을 광축 AX에 대해 편심된 4개의 광빔으로 변경하는 광빔 형성 상변경 요소를 구성한다. 따라서, 4개의 점 형상 광원 이미지는 피라미드형 프리즘(6a)이 실시예 2에서 사용되는 경우와 동일하게 무한초점 줌 렌즈(5)의 pupils plane에 형성된다.

또한, 무한초점 줌 렌즈(5)로부터 방출하는 거의 평행한 광빔은 다음에 광축 AX에 대해 중심을 두고 동일한 각도의 특정 방향으로 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면상으로 비스듬히 입사된다. 그 결과, 제 2의 4극 광원은 실질적인 광 손실없이 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 후면측 초점면에 형성된다. 또한, 이 제 2의 4극 광원은 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 후면측 초점면에 인접하게 위치한 구경 조리개(9a)에 의해 광 손실을 만족스럽게 억제하면서 제한된다. 또한, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율  $m$ 과 줌 렌즈(7)의 초점 거리  $f_r$ 를 적절히 변경함으로써, 제 2의 4극 광원의 사이즈 및 형상을 변경할 수가 있다.

도 20은 실시예 3의 제 1 변형예에 따른 조명 광학 장치의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다. 도 20의 (b)는 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율이 도 20의 (a)에 도시된 상태보다도 더욱 상세히 설명되는 상태를 도시하고 있다.

이 제 1 변형예는 실시예 3과는 단지 제 1 광학 인터그레이터(각형 광빔 형성 요소)로서 마이크로 렌즈 어레이(4a)가 사용된다는 점이 다르다.

도 20에 도시된 제 1 변형예에서, 마이크로 렌즈(4)는 제 1 플라이-아이 렌즈(4) 대신에 사용되고 있다. 마이크로 렌즈(4)는 수평 및 수직 방향으로 배열된 복수의 마이크로 렌즈를 포함하는 광학 요소이며, 가령, 평면 평행 글래스판을 예칭함으로써 형성된다. 따라서, 각각의 마이크로 렌즈는 전형적인 플라이-아이 렌즈내의 각각의 렌즈 요소보다 작지만, 그 요소는, 포지티브 굴절력을 갖는 렌즈 요소들이 수평 및 수직 방향에 배열된다는 점에서 플라이-아이 렌즈와 동일합니다. 따라서, 마이크로 렌즈 어레이(4)는 제 1 플라이-아이 렌즈(4)와 동일한 동작을 달성한다.

회절 광학 요소(6b)와 마이크로 렌즈 어레이(6a)를 사용하는 제 1 변형예에서 제 2의 환형 광원의 사이즈를 변경하지 않고 형상만을 변경할 때, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m과 줌 렌즈(7)의 초점 거리 fr에서의 변경은 특정 실시예를 참조하여 후술된다.

실시예 2에서, 회절 광학 요소(6b)에 의한 회절각(편향각)  $\alpha$ 는 7도로 되며, 마이크로 렌즈 어레이(6a)의 각각의 마이크로 렌즈의 사이즈 'a'는 0.5mm이며, 각각의 마이크로 렌즈의 초점 거리 f1은 10mm가 된다. 또한, 제 2 환형 광원의 외경  $\phi_0$ 가 96mm로 설정되고 일정하게 유지됨에 따라, 제 2 환형 광원의 환형비 A를 0.24에서 0.95로 변경하는데 필요한 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율 m과 줌 렌즈(7)의 초점 거리 fr이 발견되었다. 아래의 표 2는 실시예 2에서의 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율과, 제 2 환형 광원의 환형비 A와, 줌 렌즈(7)의 초점 거리 fr 간의 대응 관계를 도시하고 있다.

[표 2]

m	A	fr
0.1	0.94817	49.75678
0.2	0.916468	80.19026
0.3	0.881258	113.9927
0.4	0.846487	147.3723
0.5	0.812679	179.8279
0.6	0.779947	211.2513
0.7	0.748299	241.6332
0.8	0.717711	270.9975
0.9	0.688146	299.3801
1.0	0.659561	326.8211
1.1	0.631915	353.3616
1.2	0.605165	379.0419
1.3	0.57927	403.901
1.4	0.554191	427.9763
1.5	0.529893	451.3031
1.6	0.506338	473.9151
1.7	0.483496	495.8439
1.8	0.461334	517.1198
1.9	0.439822	537.7711
2.0	0.418933	557.8247
2.1	0.39864	577.3059
2.2	0.378918	596.2387
2.3	0.359744	614.6459
2.4	0.341095	632.549
2.5	0.32295	649.9682
2.6	0.305289	666.9228
2.7	0.288092	683.4313
2.8	0.271343	699.5108
2.9	0.255023	715.1778
3.0	0.239117	730.448

표 1과 표 2를 비교하면, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율과, 제 2 환형 광원의 환형비 A와, 줌 렌즈(7)의 초점 거리 fr 간의 대응 관계가 실시예 1 및 실시예 2에서 일치함을 알 수 있다. 이것은, 제 1 플라이-아이 렌즈(4) 대신에 마이크로 렌즈(6a)가 사용될 경우 각각의 마이크로 렌즈

의 초점 거리  $f_1$  및 사이즈를 적절히 설정함으로써 제 1 플라이-아이 렌즈(4)와 마찬가지로 수적으로 동일한 동작을 달성할 수가 있다는 것을 나타낸다.

도 21은 실시예 3의 제 2 변형예에 따른 주사 광학 장치의 구성을 개략적으로 도시하고 있다.

이 제 2 변형예는, 단지 무한초점 줌 렌즈(5)가 제거되고 회절 광학 요소(6b)와 제 1 플라이-아이 렌즈(4)가 서로에 인접하게 위치한다는 점에 있어서 실시예 3의 경우와 상이하며, 나머지 구성요소는 실시예 3의 경우와 동일하다. 따라서, 도 21에서, 실시예 2의 요소와 동일한 기능을 갖는 요소에는 도 17에서 동일한 참조 부호가 부여된다.

전술한 바와 같이, 무한초점 줌 렌즈(5)는 광학적 접합 요소로서 회절 광학 요소(6b)와 제 1 플라이-아이 렌즈(4)를 연결하며, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면상에서 입사하는 광빔의 각도를 변화시키는 기능을 가지고 있다. 따라서, 무한초점 줌 렌즈(5)가 조명 광로로부터 제거되고 회절 광학 요소(6b)와 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면이 서로에 인접하게 위치하고 있다하더라도, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 입사면상의 입사빔 각도는 회절 광학 요소(6b)의 회절각에 의해 결정된다. 따라서, 제 2 변형예에서, 줌 렌즈(7)의 초점 거리를 변경함으로써 제 2 플라이-아이 렌즈(8)의 후면측 초점면에 형성되는 제 2 환형 광원의 사이즈를 변경할 수가 있지만, 그 환형비를 변경하는 것은 불가능하다.

#### (실시예 4)

도 22는 본 발명의 실시예 4에 따른 조명 광학 장치의 구성을 개략적으로 도시한 도면이다.

실시예 4는 실시예 2의 경우와 유사한 구성을 갖는다. 그러나, 단지 기본적인 차이는, 실시예 2에서는 플라이-아이 렌즈가 광학 인터그레이터로서 사용되지만, 실시예 4에서는 내부 반사형(로드형) 인터그레이터(예컨대, 광 파이프, 광 터널, 그래스 로드 등으로서, 이후 간단히 '로드형 인터그레이터'로 지칭함)가 광학 인터그레이터로서 사용된다는 것이다. 따라서, 도 22에서, 실시예 2의 구성요소와 동일한 기능을 갖는 요소에는 도 12에서와 마찬가지로 동일한 참조 부호를 부여한다.

이 실시예에서, 로드형 인터그레이터(8a) 및 집광기 렌즈(7a)는 줌 렌즈(7)와 이미징 광학 시스템(10a) 사이의 광로에 장착되며, 2차 광원을 제한하기 위한 구경 조리개는 제거된다. 여기서, 줌 렌즈(7)와 집광기 렌즈(7a)로 구성되는 복합 광학 시스템은 실질적인 광학 접합 요소로서 로드형 인터그레이터(8a)의 입사면과 제 1 플라이-아이 렌즈(4)의 후면측 초점면을 연결한다. 또한, 이미징 광학 시스템(10a)은 실질적인 광학 접합 요소로서 로드형 인터그레이터(8a)의 방출면과 마스크(11)를 연결한다.

로드형 광학 인터그레이터(8a)는 실리콘 글래스 또는 플루오라이드와 같은 글래스 재료로 형성되는 내부 반사형 글래스 막대이며, 내측과 외측 간의 경계면, 즉 내면에서의 전반사를 사용하여 광원 이미지를 형성하며, 그 이미지의 수는 로드형 입사면에 나란하며 수렴점을 통과하는 면을 따르는 내부 반사의 수에 대응한다. 형성된 거의 모든 광원 이미지들은 가상 이미지로서, 단지 중심(수렴점) 광원 이미지만이 실제 이미지이다. 즉, 로드형 인터그레이터(8a)에 입사하는 광빔은 내부 반사에 의해 각 방향으로 위치하며, 복수의 광원 이미지로 구성되는 2차 광원은 막대의 입사면에 나란하며 수렴점을 통과하는 면을 따라 형성되고 있다. 실시예 4의 경우, 제 2의 환형 광원은 원추형 프리즘(6)이 광빔 형상 변경 요소로서 사용될 때 형성되며, 제 2의 4극 광원은 피라미드형 프리즘(6a)이 사용될 때 형성된다.

로드형 인터그레이터(8a)에 의해 입사면에서 형성된 2차 광원으로부터의 광빔은 그 방출면에서 중첩되며, 그 후 이미징 광학 시스템(10a)을 통과하고 마스크(11)를 일정하게 조명한다. 전술한 바와 같이, 이미징 광학 시스템(10a)은 실질적인 광 접합 요소로서 로드형 인터그레이터(8a)의 방출면과 마스크(11)(웨이퍼(13))를 연결한다. 따라서, 로드형 인터그레이터(8a)의 단면 형상과 유사한 장방형 조명 영역은 마스크(11)상에 형성된다.

이러한 방식으로, 광빔 형상 변경 요소로서 원추형 프리즘(6)을 사용함으로써, 전술한 실시예와 마찬가지로 광손실을 만족스럽게 억제하면서 변형된 환형 조명을 달성하며, 광빔 형상 변경 요소로서 피라미드형 프리즘(6a)을 사용함으로써, 변형된 4극의 조명을 달성하며, 조명 광로로부터 광빔 형상 변경 요소를 제거함으로써, 일정한 원형 조명을 달성할 수가 있다. 또한, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율과 줌 렌즈(7)의 초점 거리  $f_r$ 를 적절히 변경함으로써 2차 광원의 사이즈 및 형상을 변경할 수가 있다.

전술한 실시예 및 변형예에서 원형 개구 조명을 달성하기 위해, 광빔 형상 변경 요소는 바람직하게는 조명 광로로부터 제거된다. 광빔 형상 변경 요소(6, 6a, 6b)를 제거함으로써, 미국 특허 제 4,497,015 호(일본 무심사 특허 출원 소화58-147708에 대응함)개 개시된 바와 같이 소위 이중 플라이-아이 시스템의 구성을 가질 수가 있다.

이를 행할 경우, 도 12, 17, 22에 도시된 바와 같은 구성을 갖는 장치에서, 무한초점 줌 렌즈(5)도 이와 함께 제거될 수도 있다. 또한, 도 21에서 도시된 구성을 갖는 장치에서, 제 1 플라이-아이 렌즈(4)가 제거될 수도 있으며, 이러한 경우에, 조명 조건에 적합한 상이한 플라이-아이 렌즈가 제 1 플라이-아이 렌즈와 같이 조명 광로에서 제거될 수도 있다. 또한, 실시예 3에서는 파필드  $y_0$ 에 원형 조명을 성취하는 원형 조명 필드를 형성하는 회절 광학 요소를 이용가는 것도 가능하다.

또한, 실시예 4에서는 광빔 형상 변경 요소로서 원추형 또는 피라미드형 프리즘에 이용되었지만, 실시예 3과 같이 회절 광학 요소를 이용하는 것도 또한 가능하다.

또한, 전술한 실시예 및 변형예에서, 원추형 함몰면을 갖는 프리즘이 원추형 프리즘으로서 사용될

수도 있지만, 볼록한 원추형 표면을 갖는 프리즘을 사용할 수가 있다. 유사하게, 피라미드형 프리즘에 대해서는, 볼록한 피라미드형 표면을 갖는 프리즘을 사용할 수도 있다.

또한, 전술한 실시예 및 변형예에서, 본 발명은 조명 광학 장치가 제공된 투사 노광 장치를 일례로 하여 설명되었지만, 본 발명을 마스크이외의 타겟 조명면을 일정하게 조명하는 일반적인 주사 광학 장치에 적용할 수도 있다.

또한, 전술한 실시예 및 변형예에서, 광원은 248nm의 파장의 광을 제공하는 KrF 엑시머 레이저이거나 193nm의 파장의 광을 제공하는 ArF 엑시머 레이저이지만, 본 발명은 이 이외의 광원이 제공되는 장치에도 적용될 수도 있다. 가령, 본 발명의 광원으로서, 157nm의 파장의 광을 제공하는 F<sub>2</sub> 레이저와 같은 레이저 광원을 사용할 수도 있거나, 소정의 파장의 광을 제공하는 레이저 광원과 그 레이저 광원으로부터의 광원을 200nm 또는 그 미만의 파장의 광으로 변경하는 비선형 광학 요소와의 조합으로 이루어지는 광원 장치 등을 사용할 수도 있다.

상기한 실시예 2 내지 4에서, 조명을 교환하는 동작은 실시예 1과 유사하다. 또한, 실시예 3 및 4에서, 구동 시스템 및 제어 시스템은 도 17 및 21에서 도시되지 않았다. 실시예 3의 조명 광학 시스템은 회절 황학 요소(6b, 6c)을 교환하는 것을 제어하는 구동 시스템, 무한초점 줌 렌즈(5)의 배율을 제어하는 줌 구동 시스템, 줌 렌즈(7)의 초점 길이를 제어하는 줌 구동 시스템, 및 구경 조리개(터릿 기판(400))을 제어하는 구동 시스템을 갖는다.

#### (실시예 5)

도 23은 본 발명의 실시예 5에 따른 조명 광학 장치의 개략적인 도면이다.

도 23의 노광 장치는 광원(601)으로서 KrF 또는 ArF 엑시머 레이저를 갖는다. 광원(601)으로부터 Y축의 방향으로 방사되는 거의 평행한 광빔들은 단위 배율 릴레이 광학 시스템(602)을 통해 회절 광학 장치(604)로 입사된다. 이러한 단위 배율 릴레이 광학 시스템(602)에서, 광원(601)내의 도시되지 않은 공진기 미러쌍의 출력측 미러와 회절 광학 장치(604)는 사실상 광학적으로 켈레를 이루게 만들어진다.

회절 광학 장치(604)는 장방형 단면을 갖는 입사광을 거의 원형 단면의 광으로 변환하여 파 필드(프로노퍼(Fraunhofer) 회절 영역)내로 방출한다. 회절 광학 장치(604)로부터 방출되는 광은 무한초점 줌 렌즈(605)에 의해 특정 플라이-아이 렌즈(606)로 전송되며, 상기 플라이-아이 렌즈는 조명 광로부터 제거된다.

도 24a는 광의 입사 방향으로부터 특정 플라이-아이 렌즈(606)를 경사지게 도시한 도면이며, 도 24b는 광의 방사 방향으로부터 특정 플라이-아이 렌즈(606)를 경사지게 도시한 도면이다. 도 24a 및 도 24b에서, 도 23과 동일한 좌표계가 제공된다.

특정 플라이-아이 렌즈(606)는 도 24a에 도시된 바와 같은 행렬 형태로 밀집하게 배열된 다중 렌즈 표면(606a)을 갖는다. 특정 플라이-아이 렌즈(606)는 또한 도 24b에 도시된 바와 같은 행렬 형태로 밀집하게 배열된 다중 프리즘 표면(606b)을 갖는다. 다중 프리즘 표면(606b)의 각각은 다중 렌즈 표면(606a)에 대응한다. 여기서, 다중 렌즈 표면(606a)과 다중 프리즘 표면(606b)은 애칭 공정을 사용하여 평행한 평판 글래스 판상에 형성된다.

도 25는 도 24a 및 도 24b에 도시된 특정 플라이-아이 렌즈의 단면도이다. 바람직하게는, 플라이-아이 렌즈(606)는 도 25의 (a)에 도시된 바와 같이 한 기판의 전면 및 후면의 표면상에서 다중 렌즈 표면(606a)과 다중 프리즘 표면(606b)을 갖지만, 도 25의 (b)에 도시된 바와 같이, 한 기판(631)의 전면 표면상에 다중 렌즈 표면(631a)이 형성되고, 다른 기판(632)의 후면상에 다중 프리즘 표면(632b)가 제공되는 방식으로 구성될 수 있다. 이러한 경우, 서로 접하는 표면(631b)과 표면(632b)은 바람직하게는 평탄한 표면들이다.

또한, 도 25의 (a) 및 도 25의 (b)에서, 플라이-아이 렌즈(606)의 다중 렌즈 표면(606a)(631a)의 각각이 포지티브 굴절력을 가지지만 이러한 렌즈 표면들은 또한 네가티브 굴절력을 가질 수도 있는 실시예를 도시하고 있다.

특정 플라이-아이 렌즈(606)의 프리즘 표면(606b)측에 형성된 프리즘 어레이는 제 1의 4극 소형 프리즘 세트의 클러스터 보디(cluster body)와 제 2의 4극의 소형 프리즘 세트의 클러스터 보디를 포함한다. 제 1의 4극 소형 프리즘 세트는 도 26의 (a)에 도시되며, 제 2의 4극 소형 프리즘 세트는 도 26의 (b)에 도시된다.

도 26의 (a)에서, 제 1의 4극 소형 프리즘 세트는 XZ 평면에 대한 양의 Z방향으로 경사지는 법선 라인(normal line)을 갖는 프리즘 표면(606b1)과, XZ 평면에 대한 양의 X방향으로 경사지는 법선 라인을 갖는 프리즘 표면(606b2)과, XZ 평면에 대한 네가티브 Z방향으로 경사지는 법선 방향을 갖는 프리즘 표면(606b3)과, XZ 평면에 대한 네가티브 X 방향으로 경사지는 법선 라인을 갖는 프리즘 표면(606b4)을 포함하고 있다.

도 26의 (b)에서, 프리즘 표면(606b1)을 Y축을 중심으로 -45도로 회전시킴으로써 얻어지는 프리즘 표면(606b5)과, 프리즘 표면(606b1)을 Y축을 중심으로 -135도로 회전시킴으로써 얻어지는 프리즘 표면(606b6)과, 프리즘 표면(606b1)을 Y축을 중심으로 -225도로 회전시킴으로써 얻어지는 프리즘 표면(606b7)과, 프리즘 표면(606b1)을 Y축을 중심으로 -315도로 회전시킴으로써 얻어지는 프리즘 표면(606b8)을 포함하고 있다. 이러한 실시예에서, 시계 방향의 회전은 포지티브 방향인 것으로 정의된다.

다음에, 평행한 광빔이 특정 플라이-아이 렌즈(606)으로 입사되는 경우가 검토되고 있다. 이러한 경우, 다중 점 광원은 특정 플라이-아이 렌즈(606)의 다중 렌즈 표면(606a)의 기능으로 인해

특정 플라이-아이 렌즈(606)의 방출측에 형성된다. 또한, 줌 렌즈(607)의 초점 위치의 전면측(입사측)이 다중 점 광원의 위치(렌즈 표면(606a)의 초점 위치의 후면측(방출측)에 인접하고 있기 때문에, 렌즈 표면(606a)의 다중 이미지는 플라이-아이 렌즈(608)의 입사면에 인접하게 위치하는 줌 렌즈(607)의 초점면의 후면측(방출측)상에서 서로 중첩하면서 형성된다. 이때, 렌즈 표면(606a)에 대응하게 위치하는 프리즘 표면(606b1-606b8)의 기능으로 인해, 렌즈 표면(606a)의 다중 이미지가 형성되는 위치는 XZ 평면내에서 변화한다.

도 27의 (a)는 평행 광빔이 특정 플라이-아이 렌즈(606)로 입사할 때 특정 플라이-아이 렌즈(606)로부터 방출되어 줌 렌즈(607)를 통해 전송되는 광에 의해 플라이-아이 렌즈(608)의 입사면에 형성되는 조명 영역을 도시하고 있다. 도 27의 (a)에서, 조명 영역(661)은 프리즘 표면(606b1)을 통과하는 광에 의해 형성되며, 조명 영역(662)은 프리즘 영역(606b2)을 통과하는 광에 의해 형성되며, 조명 영역(663)은 프리즘 표면(606b3)을 통과하는 광에 의해 형성되며, 조명 영역(664)은 프리즘 표면(606b4)을 통과하는 광에 의해 형성되며, 조명 영역(665)은 프리즘 표면(606b5)을 통과하는 광에 의해 형성되며, 조명 영역(666)은 프리즘 표면(606b6)을 통과하는 광에 의해 형성되며, 조명 영역(667)은 프리즘 표면(606b7)을 통과하는 광에 의해 형성되며, 조명 영역(668)은 프리즘 표면(606b8)을 통과하는 광에 의해 형성된다.

도 23을 참조하면, 회절 광학 장치(604)는 광원(601)으로부터의 평행 광빔을 소정의 갯수의 개구(발산각)를 갖는 광빔으로 확산시키며, 무초점 줌 렌즈(605)가 회절 광학 장치(604)와 특정 플라이-아이 렌즈(606)가 서로 거의 광학적으로 접합되도록 하고 있기 때문에, 특정의 플라이-아이 렌즈(606)는 무초점 줌 렌즈(605)의 배율각에 대응하는 갯수의 개구(발산각)를 갖는 광빔에 의해 조명된다.

회절 광학 장치(606)는 파 필드에서 원형 단면을 갖는 광빔을 발생하고, 광빔의 원추 형상 몸체는 특정 플라이-아이 렌즈(fly-eye lens)(606)로 입사된다. 여기에서, 특정 플라이-아이 렌즈(606)로 입사되는 원추형 광빔은 여러 각도를 갖는 무수히 많은 수의 광빔 세트로 간주된다. 그러므로, XZ 평면에서 조금씩 다른 영역을 갖는 다수의 조명 영역이 플라이-아이 렌즈(608)의 입사면 상에 형성된다. 도 27의 (b) 및 27의 (c)에 플라이-아이 렌즈(608)의 입사면 위에 형성되는 원형 조명 영역(671~678) 및 (681~688)이 도시되어 있다.

도 27의 (b)과 도 27의 (c) 사이의 한가지 차이는, 특정 플라이-아이 렌즈(606)로 입사되는 원추형 광선의 꼭지각(발산각)이 다르다는 점이다. 도 27의 (b)에는 도 28c에 도시된 광빔보다 더 큰 발산각을 갖는 상태의 광빔이 도시되어 있다. 특정 플라이-아이 렌즈(606)로 입사되는 광선의 발산각이 변경되면, 의사 링 형상 조명 영역의 폭(원형 조명 영역(671~678) 또는 (681~688)의 클러스터를 포함하는)이 변경될 것이다. 이 경우, 의사 링 형상 조명 영역의 폭의 중심과 광축의 폭의 중심 사이의 거리  $R_m$ 은 일정하다. 무초점 줌 렌즈(605)의 각도 배율을 변경해서, 특정 플라이-아이 렌즈(606)로 입사되는 광빔의 발산각을 변경할 수 있다. 실제로, 무초점 줌 렌즈(605)는 링의 폭을 변경시킬 수 있다.

그 다음, 도 28의 (a) 및 도 28의 (b)를 참조해서 줌 렌즈(607)의 기능을 설명한다. 도 28의 (a) 및 도 28의 (b)에는 플라이-아이 렌즈(608)의 입사면 상의 조명 영역이 각각 도시되어 있다. 줌 렌즈(607)의 초점 길이를 변경하면, 플라이-아이 렌즈(608)의 입사 표면 상에서 조명 영역이 부분적으로 확대 또는 축소된다. 여기에서, 도 28의 (a)에는 줌 렌즈(607)의 초점 길이가 도 28의 (b)에 도시된 초점 길이보다 큰 상태가 도시되어 있다. 무초점 줌 렌즈(605)의 각도 배율은 도 28의 (a) 및 도 28의 (b)에 도시된 두 상태 모두 일정하다.

상술한 방식으로 줌 렌즈(607)의 초점 길이를 변경하면, 의사 링 형상 조명 영역의 외부 반경  $R_o$  값은, 조명 영역(671~678) 또는 (681~688)에 형성된 의사 링 형상 조명 영역의 내부반경  $R_i$ 와 외부 반경  $R_o$ 의 비율(링형 비율)을 일정하게 유지 하는 한 자유롭게 변경될 수도 있을 것이다.

또한, 무초점 줌 렌즈(605)의 각도 배율 변경 및 줌 렌즈(607)의 초점 길이 변경을 조합하면, 플라이-아이 렌즈(608) 상에 형성된 의사 링 형상 조명 영역의 외부 반경 및 링형 비율은 임의의 요구되는 값으로 설정될 것이다.

플라이-아이 렌즈(608)는 입사 표면 상에 형성된 조명 영역의 형상에 대응하는 형상을 갖는 제 2차 광원을 형성하기 때문에, 제 2차 링 형상 광원의 외부 반경 및 링형 비율은, 무초점 줌 렌즈(605)의 각도 배율 변경 및 줌 렌즈(607)의 초점 길이 변경에 의해서 임의의 요구되는 값으로 설정될 것이다.

도 23으로 돌아가면, 가변 구경 조리개(609), 집광 렌즈(610), 조명 비전 조리개(618) 및 조명 비전 조리개 이미징 광학 시스템(619)이 정렬된다. 플라이-아이 렌즈(608)로부터의 광빔은 가변 구경 조리개(609)에 의해서 형상이 한정되는 제 2차 링 형상 광원을 형성한다. 링 형상 광원으로부터의 광빔은 집광 렌즈(610)에 중첩되고 조명 비전 조리개(618)를 조명한다. 또한, 조명 비전 조리개(618) 및 레티클(611)의 개구부는 조명 비전 조리개 이미징 광학 시스템(619)를 통해서 거의 인접해 있다. 따라서, 조명 비전 조리개(618)의 개구부 이미지인 조명 영역은 레티클(611) 상에 형성된다.

여기에서, 레티클(611)에서 웨이퍼(613)까지의 시스템은 상술한 실시예와 유사하므로 그 시스템에 대한 설명은 생략한다.

또한, 도 23의 장치에는 조명 경로에 대한 특정 플라이-아이 렌즈(606)를 설치 및 제거하기 위한 제 1 구동 시스템(622)과, 무초점 줌 렌즈(605)의 배율을 변경하기 위해서 복수의 렌즈 그룹 중 적어도 하나를 광축 방향으로 이동시키는 제 2 구동 시스템(623)과, 줌 렌즈(607)의 초점 길이를 변경하기 위해서 복수의 렌즈 그룹 중 적어도 하나를 광축 방향의 줌렌즈(607)로 이동시키는 제 4 구동 시스템(625)과, 광원(제 2차 광원) 표면의 형상 및 크기를 지정하기 위해서 가변 구경 조리개(609)를 구동하는 제 5 구동 시스템 및 투사 광학 시스템(612)의 구경 치수를 지정하기 위

해서 투사 광학 시스템(612)의 가변 구경 조리개(617)를 구동하는 제 6 구동 시스템을 포함한다. 또한, 도 23에 도시된 장치는 레티클(마스크) 형식에 대한 정보를 기록하기 위한 입력 유닛(620) 및 입력 유닛(620)으로부터의 정보에 의거해서 상술한 제 1 내지 제 6 구동 시스템(622-627)을 제어하기 위한 제어 시스템(621)을 포함한다.

(실시예 6)

도 29는 본 발명의 실시예 6에 따른 조명 광학 장치의 개략도이다. 광원(701)으로부터의 광빔, 예를 들어 엑시머 레이저(excimer laser)는 빔 인터그레이터(702)에 의해서 사전 결정된 형상으로 회절된 후, 미러(703)에 의해서 리볼버(706A)에 부착된 제 1 회절 광학 요소(751)로 편향된다. 제 1 회절 광학 요소(751)로부터의 편향된 회절된 광빔은 릴레이 렌즈(707)에 의해서 집광되어, 파면 분할(분리)형 통합기인 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면에 균일하고 중첩되게 조명된다. 그 결과, 사실상 표면 광원은 플라이-아이 렌즈(708)의 방출면에서 형성된다. 릴레이 렌즈(707)는 이미징 광학 시스템이고, 회절 광학 요소(751)의 방출면 근처의 전체 유효 영역이 플라이-아이 렌즈(708)의 전체 방출면 위에 이미지를 가상적으로 형성하는 방식과 같이 설계된다.

리볼버(706B)에 부착된 구경 조리개(766)에 의해서 투과된 광빔의 형상이 한정된 후, 플라이-아이 렌즈(708)의 방출측에서 표면 광원으로부터 방출된 광빔은 집광 시스템(710)에 의해서 한차례 집광된다. 따라서, 광빔이 중첩되어 릴레이 광학 시스템(712)을 통과하면, 그 광빔은 균일하고 중첩되게 패터닝된 레티클(또는 마스크, 원래 투사판)(714)을 조명한다. 조명 영역을 결정하기 위한 조명 필드 조리개(711)는 집광 시스템(710)과 릴레이 광학 시스템(712) 사이의 광로에 정렬된다. 또한, 투사 광학 시스템(715)은, 균일한 조명광을 사용하여 레티클(714) 상에 형성된 패턴을 웨이퍼(716) 상으로 투사 노출한다.

도 30의 (a)에 도시된 바와 같이, 리볼버(706A)는 다수의 회절 광학 요소(751, 752, 753) 및 다수의 보조 집광 렌즈(754, 755, 756)를 운반한다. 또한, 리볼버(706A)는 구동 모터 MT1에 의해서 광축 AX 주변의 리볼버(706A)가 회전 하는 식으로 회절 광학 요소(751, 752, 753) 및 보조 플라이-아이 렌즈(754, 755, 756)의 일부분을 허용하는 식으로 구조화된다. 마찬가지로, 도 30의 (b)에 도시된 바와 같이, 구경 조리개(761~766)는 다양한 구경 형상을 구비한 조리개가 리볼버(706A)에 의해서 선택되는 방식으로 구조화된다.

보조 플라이-아이 렌즈(754~756)가 리볼버(706A)의 회전에 의해서 선택되는 경우, 조명 광학 시스템은 이중 플라이-아이 렌즈(더블 통합 시스템)가 된다. 이중 플라이-아이 렌즈 시스템은 숫자  $m \times n$ 과 매칭되는 다중 3차원 광원 이미지를 형성할 수 있다. 여기에서,  $m \times n$ 은 보조 플라이-아이 렌즈의 렌즈 요소의 숫자와 플라이-아이 렌즈(708)의 방출면 상의 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소 수의 곱이다. 여기에서, 보조 플라이-아이 렌즈(754)는 구경 조리개(765)와 대응하고, 플라이-아이 렌즈(755)는 조리개(763)에 대응하며, 플라이-아이 렌즈(756)는 조리개(764)에 대응한다. 제 1 플라이-아이 렌즈를 스위칭함으로써 상이한 직경을 갖는 원형 구경 조리개에 대한 광 손실량을 감소시키는 기법은 예를 들어 미국 특허 제5,392,094호에 개시되어 있다.

한편, 본 실시예의 한 가지 장점은, 제 1 내지 제 3 회절 광학 요소(751~753) 역시 선택될 수 있다는 점이다.

바람직하게는, 제 1 내지 제 3 회절 광학 요소(751~753)가 위상형 회절 광학 요소이고, 다수의 순간 위상 패턴과 투과 비율 패턴의 정렬에 의해서 구조화된다. 도 31의 (a)에는 X방향으로부터 보여지는 회절 광학 요소(751)의 단면 형상이 도시되어 있다. 회절 광학 요소(751)를 통해서 투과된 광빔 중에서 A로 표시된 부분을 통해서 투과된 광빔은 위상이 0인 반면에, B라고 표시된 부분을 통해서 투과된 광빔은 지연된 위상  $\pi$ 를 갖는다. 따라서, 도 31의 (b)에 도시된 바와 같이, 광학적으로는 웨이브인 이들 두 세트의 광빔 옵션은 광학적으로 0차 광빔(직접 투과 광빔)을 초래한다. 따라서, 회절 광학 장치(751)를 통해서 투과된 광빔은 회절되어, 릴레이 렌즈(707)를 통해서  $\pm 1$ 차 회절 광빔(또는  $\pm 2$  이상 차수 회절 광빔)으로서 투과된다. 또한, 도 31의 (c)에 도시된 바와 같이, 릴레이 렌즈(707)를 통과한 회절 광빔은, 사전 결정된 방사 표면 P의 상부의 델타 함수형 강도 분포 I를 갖는 조명이 된다. 다양한 위상 패턴 및 투과 비율 패턴을 추가한 회절 광학 요소를 사용함으로써, 요구되는 광 강도 분포는 방사 표면 P, 즉, 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에서 획득될 것이다. 회절 광학 요소는 도 31에 도시된 바와 같이 정렬될 필요는 없지만, 위상차, 투과 비율 및 회절 비율을 통해서 광빔을 회절하는 임의의 요소 가 될 수 있다.

도 32의 (a)는 일례로서 광빔이 제 1 회절 광학 요소(751)로 입사되는 상태가 도시된 경사도이다. 도 32의 (b)에는 회절 광빔이 X방향으로부터 보이는 상태가 도시되어 있고, 도 32의 (c)에는 회절 광빔이 Y방향으로부터 보이는 상태가 도시되어 있다. 여기에서, 광축은 Z축이 되고, Z축에 대해서 직각인 수직 방향은 Y축이 되고, Z축에 대해서 직각인 수평 방향은 X축이 되고, ZY 평면 내의 각도는  $\theta_y$ 로 표시되며, ZX 평면 내의 각도는  $\theta_x$ 로 표시된다고 가정한다. 입사된 광빔은, 제 1 차 회절 특성으로 인해서  $\theta_{x0} \sim \theta_{x1}$  및  $\theta_{y0} \sim \theta_{y1}$ 의 회절 각도 범위 내에서 회절되며, 회절 광빔의 단면 형상은 거의 링 형상이 된다. 또한, 링 형상 광 강도 분포는 릴레이 렌즈(707)를 통해서 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에 형성된다.

도 33은 제 1 회절 광학 요소(751)에 의해서 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에 형성되는 조명 영역이 도시된 도면이다. 제 1 회절 광학 요소(751)가 사용되는 경우, 제 1 회절 특성으로 인해서, 회절 광빔의 단면은 거의 링 형상이 된다. 또한, 릴레이 렌즈(707)를 통해서 투과된 광빔은, 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에서 음영 영역으로 표시된 링 형상 조명 영역 IA에서만 거의 균일한 광 강도 분포가 형성된다. 여기에서, 점선으로 표시된 링은, 제 1 회절 광학 요소(751)에 대응하는 광축 AX를 따라서 정렬된 구경 조리개(766)에 의해서 형성된 개구 영역 AA이다. 도면에 명백히 도시된 바와 같이, 구경 조리개(766)의 개구 형상에 대응하는 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소(708a) 만이, 제 1 회절 광학 요소(751) 및 릴레이 렌즈(7078)에 의해서 형성된 링 형상

광빔으로 조명될 것이고, 광원(701)으로부터의 광은 능률적인 고 비율로 사용될 것이다.

제 1 회절 광학 요소(751)는, 조명 효율을 더 증가시키기 위해서, 링 형상 구경 조리개(766)을 통해서 투과된 광빔을 제공하는 렌즈 요소(708a)의 주변을 따라서만 조명되도록 만들어질 것이다. 이 경우에 있어서, 요구되는 바와 같이 회절 광학 요소(751)의 회절 각도 범위  $\theta_x$  및  $\theta_y$ 를 대체함으로써, 중앙부 및 주변 영역에서 상이한 광 강도 분포를 갖는 다중 각도 링 형상 조명 영역 IA는 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에 형성될 것이다. 따라서, 필수 렌즈 요소(708a)만이 조명되기 때문에, 링 형상 구경 조리개(766)은 매우 높은 효율로 조명될 것이다.

또한, 도 34의 (b)에 도시된 바와 같이, 회절 광빔을 원통의 외부 형상과 6각형의 내부 형상을 갖는 다각형의 링 형상 밴드로 투과하는 회절 특성을 갖는 회절 광학 요소는 제 1 회절 광학 요소(751)로서 사용될 것이다. 이 경우에 있어서, 균일한 조명이 유지되는 동안 조명 효율을 증가시킬 수 있도록, 조명 영역 IA는, 플라이-아이 렌즈(708)의 모든 렌즈 중에서 조명용으로 사용되는 그들 렌즈 요소(708a) 만의 사이즈에 대응해서 형성된다.

도 34의 (c)에 도시된 바와 같이, 타원형의 링 밴드의 내측 및 외측 형상을 둘 다 구비하는 조명 영역 IA로 투과하기 위한 회절 특성을 갖는 회절 광학 요소가, 제 1 회절 광학 요소(751)로서 사용될 것이다. 이 경우에 있어서, 균일한 조명이 유지되는 동안 조명 효율을 증가시킬 수 있도록, 플라이-아이 렌즈(708)의 모든 렌즈 중에서 그들 렌즈 요소(708a) 만이 조명용으로 사용된다.

도 35는 회절 광학 요소(751)의 유효 영역과 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소(708a) 사이의 관계가 도시된 도면으로서, 회절 광학 요소(751)이 도시된 도 35의 (a)와 플라이-아이 렌즈(708)의 일부가 도시된 35의 (b)를 구비한다. 도면에 명백히 도시된 바와 같이, 회절 광학 요소(751)의 유효 영역과 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소(708a)의 XY 단면은, 직사각형이면서 유사하도록 설정된다. 이러한 방법으로 그 것들을 설정함으로써, 플라이-아이 렌즈(708)의 방출면에서 형성되는 광 점 어레이 LM의 거시적인 구조는 가장 밀집된다. 실제로, 플라이-아이 렌즈(708)의 방출측에서 구경 조리개(766)의 위치에서 거시적 광 강도 분포의 균일도는 개선될 것이고, 레티클(714) 및 웨이퍼(716)의 균일한 조도도 달성될 것이다.

회절 광학 요소(751)의 유효 영역(751a)은 회절 광학 요소(751)의 영역 외부의 방출면 근처에서의 XY 단면 형상 또는 회절 광학 요소(751) 내부의 입사광의 XY 단면 형상의 보다 협소한 형상과 거의 일치한다. 본 실시예에 있어서, 회절 광학 요소(751)의 광학 요소가 형성되는 영역과 회절 광학 요소(751) 내로 입사되는 입사 빔의 형상 둘 다, 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소(708a)의 단면 형상과 일치하도록 만들어진다.

조명 조건의 변경에 있어서, 예를 들어 도 30의 (b)에 도시된 보다 큰 직경(동일한 형상이지만 조리개(766)과 직경이 다른)을 갖는 링형(환형) 조리개(763)가 광로 내에 되는 것과 같이, 리볼버(706B)는 모터 MT2에 의해서 회전 될 것이다. 구경 조리개가 상술한 방식에 의해서 보다 큰 직경을 갖는 링 밴드 조리개로 스위칭되는 경우, 릴레이 렌즈(7)가 가변 초점 거리 광학 시스템(좁 광학 시스템)인 한 제 1 회절 광학 요소(751)이 유지되는 동안 플라이-아이 렌즈(708)는 근소한 양의 손실도 없이 조명될 것이다.

또한, 리볼버(706B)는 모터 MT2에 의해서 회전하고, 구경 조리개(761)가 선택되는 경우, 제 2 회절 광학 요소(752)가 광로 내에 위치하도록, 리볼버(706A) 역시 모터 MT1 에 의해서 회전한다. 제 2 회절 요소(752)는 제 2 회절 특성을 갖는다. 제 2 회절 광 요소(752)에 의해서 회절된 광빔의 단면 형상은, 4방향으로 분산되는 형상을 갖는다. 도 36의 (a)에 도시된 바와 같이, 광빔은 릴레이 렌즈(707)를 통과한 후에, 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에 4 영역을 갖는 광 강도 분포를 구비하는 조도 영역 IA를 형성한다. 따라서, 만약 발광되는 중심에서 십자 형상 영역의 조명이 아니면, 고 효율 조명이 이루어진다.

보다 바람직하게는, 다각 십자 부분을 갖는 4개 영역 중 하나, 즉, 도 36의 (b)에 도시된 바와 같이 5각형을 갖는 특정한 것이 사용된다면, 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소(708a)의 사이즈에 대응하는 최적 조명이 달성되어, 조명 균일도가 유지되는 동안 더욱 조명 효율을 개선할 수 있다.

만일 플라이-아이 렌즈의 각 렌즈 요소(708a)가 임의로 정렬된다면, 즉 격자 형상으로 정렬되지 않는다면, 플라이-아이 렌즈(708)의 모든 렌즈 요소의 필수 렌즈 요소(708a)의 사이즈에 대응하는 최적 조명은, 4 영역 형상 회절 광의 외부 형상을 다각 형상으로 만드는 회절 특성을 갖는 회절 광학 요소를 사용해서 달성할 것이다.

본 실시예가 투사 노광 시스템에 관련된 작업으로서 원 투사 평판 및 기판과 같은 레티클이 이동하는 동안 노출을 수행하는 주사형 투사 노광 장치에 제공되는 경우, 플라이-아이 렌즈(708)의 다수 개의 렌즈 요소(708a)의 각 형상은 직사각형으로 만드는 것이 바람직하다.

이 경우에 있어서, 플라이-아이 렌즈(708) 상에 형성된 조명 영역의 예지 방향은 주사 방향(전형적으로, 미러축을 따른 방향)에 대응하는 방향에 평행하고, 웨이퍼(716) 상의 강도 분포는 주사 방향에 대해서 직각인 방향으로 바람직하게 분포되지는 않을 것이다.

이러한 이유 때문에, 특히 4겹 조명라면, 회절 광학 요소(752) 및 릴레이 렌즈(707)에 의해서 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에 형성된 4 조명 영역의 예지 방향은, 플라이-아이 렌즈(708)의 다수의 렌즈 요소(708a)의 주사 방향에 대응하는 방향과 바람직하게 각도를 이룬다.

도 37에 있어서, 렌즈 요소(708a)의 주사 방향에 대해서 연속적으로 각을 이루는 방향으로 영역의 예지를 유지시키기 위해서, 4개의 조명 영역 IA의 형상은 타원형이 되도록 만들어진다. 또한, 도 37의 (b)에는 조명 영역 IA와 플라이-아이 렌즈(708)의 다수의 렌즈 요소(708a)의 입사면 사이의 관계가 도시되어 있다.

도 37의 (b)에 명백히 도시된 바와 같이, 타원형 조명 영역 IA의 예지는 동일한 위치에서 다수의

렌즈 요소(708a)와 교차되지 않는다. 따라서, 조명된 표면 상의 강도 분포의 불균일(요구되는 분포로부터 이탈)은 감소되지 않을 것이다.

이 경우에 있어서, 플라이-아이 렌즈(708)의 방출측 상의 구경 조리개(766)를 사용하면, 비록 교차되는 다수의 조명 렌즈(708a)의 조명 영역의 에지가 보호받지 못하더라도, 조명의 불균일은 감소될 것이다.

또한, 비록 구경 조리개(766)가 사용되지 않더라도(또는 최대 구경의 경우에서), 불균일한 조명은 감소될 것이다. 따라서, 다수 조명 영역의 위치가 좀 광학 시스템으로서 릴레이 렌즈(707)를 사용해서 연속적으로 변경되더라도, 조명 영역에 대응하는 조명 구경 조리개(766)의 구경 유닛의 위치를 연속적으로 변경할 필요는 없다.

또한, 도 37의 (c)에 도시된 바와 같이, 4개의 조명 영역 1A의 형상은 원형으로 이루어질 것이다. 개선된 이미징 수행의 일관성에 의거하면, 광축으로부터 제 3 차 광원의 광량 분포를 분리할 수 있기 때문에, 다수 개의 조상 영역 1A의 형상을 도 37의 (c)에 도시된 바와 같이 원형으로 형성하는 것보다 도 37의 (a)에 도시된 바와 같이 타원형으로 형성하는 것이 보다 바람직하다.

주사형 노광 장치에 있어서, 비록 주사 방향에 대해서 직각인 방향으로서 그 방향이 동일하다고 할지라도 이 방향에 따른 조명 불균일이 주사 노출에 의해서 완전해지기 때문에 다수 개의 조명 영역 1A의 에지 방향을 고려할 필요는 없다. 따라서, 도 37의 (d)에 도시된 바와 같이, 회절 광학 요소(752) 및 릴레이 렌즈(707)에 의해서 형성된 다수 개의 조명 영역 1A의 형상은 육각형이 될 수도 있다. 이 경우에 있어서, 조명 영역 1A의 에지가 렌즈 요소(708a)의 주사 방향에 대응하는 방향에 대한 각도에서 교차되는 방식과 같이 시스템을 설정함으로써, 방사되는 표면상의 불균일 조명이 감소될 수도 있다.

조명 영역의 형상은 육각형으로 한정되지 않지만, 다른 다각형 형상 렌즈 요소(708a)의 주사 방향에 대응하는 방향에 관한 각도에서 조명 영역의 에지가 교차되는 방식과 같이 시스템을 설정하는 한 다른 다각형 형상이 사용될 수도 있다. 실제로, 조명 영역 1A의 형상은 도 37의 (e)에 도시된 바와 같이 직사각형이 될 수도 있다.

또한, 조명 영역의 형상이 육각형일지라도, 에지가 렌즈 요소(708a)의 주사 방향에 대응하는 방향과 평행한(예를 들면, 도 37의 (d)에 도시된 조명 영역 1A는 그 중심 둘레에서 30. 회전한다) 동안, 바람직하지 못한 불균일 조명은 감소되지 않는다.

상술한 예에 있어서, 4극 조명라고 가정하면 4개의 조명 영역은 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에 형성되지만, 그 예제는 8극 조명과 같이 다극 조명으로 제공될 수 있다.

상술한 바와 같이, 다수의 조명 영역이 회절 광학 요소 및 릴레이 렌즈에 의해서 파면 분할형 통합기의 입사면 상에 형성될 때, 다수개의 조명 영역의 에지가 파면 분할형 통합기 렌즈 요소의 주사 방향에 대응하는 방향에 대해서 각도를 이루는 방식으로 시스템을 설정함으로써, 이미징 수행이 개선될 수도 있고 방사된 표면 상의 불균일한 조명이 감소되므로 광손실이 감소될 수도 있다. 여기에서, 접선 방향(화상표 방향)으로 조명 영역의 주축을 설정함으로써, 이미징 수행을 더 개선할 수도 있다.

이 특정한 예제의 응용은 실시예 5에 한정되지 않고, 이상 및 이하에 설명되는 임의의 실시예에 사용될 수 있다.

도 29로 돌아가면, 리볼버(706a)를 회전시켜서 구경 조리개(753)를 선택할 때, 제 3 회절 광학 요소(753)는 리볼버(706a)를 회전해서 광로에 위치된다. 제 3 회절 광학 요소(753)는 제 3 회절 특성을 갖고 회절 광범의 단면은 도 38에 도시된 바와 같이 원(원통 형상인)에 가깝게 된다. 또한, 원에 가까운 광 강도 분포를 갖는 조명 영역 1A는 릴레이 렌즈(707)를 통해서 플라이 렌즈(708)의 입사면 상에 형성된다. 이 때문에, 조명 효율은 종래 기술의 보조 플라이-아이 렌즈가 사용되는 경우와 비교해서 대체로 개선될 것이다.

상이한 회절 특성을 갖는 3개의 회절 광학 요소(751~753) 및 상이한 초점 길이를 구비하는 3개의 보조 플라이-아이 렌즈가 사용되더라도, 필요하다면, 상이한 회절 특성을 갖는 3 개의 광학 요소(751~753) 만이 사용될 수도 있다.

만일 플라이-아이 렌즈(708)의 각 렌즈 요소(708a)가 임의로 정렬되었다면, 즉, 렌즈 요소가 격자로 정렬되지 않았다면, 회절 광 범의 외부 형상을 다각형으로 만드는 회절 특성을 갖는 회절 광학 요소를 정렬함으로써 플라이-아이 렌즈(708)에서 필요로 하는 렌즈 요소(708a) 사이즈에 대한 최적 조명을 달성할 수도 있다. 그 결과, 조명의 균일도가 유지되는 동안 광 손실량을 실질적으로 감소시킬 수도 있다.

제 1 회절 광학 요소(751)의 유효 영역은 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소(708a)의 단면과 유사하게 된다고 상술한 바 있지만, 제 2 및 제 3 회절 광학 요소(752, 753)의 유효 영역 역시 각각 플라이-아이 렌즈(708)의 렌즈 요소(708a)의 단면과 유사해질 수 있다. 따라서, 조명 조건의 변경으로 제 2 및 제 3 회절 광학 요소가 선택되는 경우라도, 플라이-아이 렌즈(708)의 방출측 상의 구경 조리개(761, 762)의 위치에서 거시 광 강도 분포의 균일도가 개선될 수도 있고, 더 나아가서, 레티클(714) 및 웨이퍼(716)의 균일한 조도를 달성할 수도 있다.

그 다음, 링 형상 문기 특성을 갖는 제 1 회절 광학 요소(751) 및 원형 구경 조리개(756) 둘 다 사용된 경우에 대해서 설명한다.

그렇게 조합된 조명에 있어서, 전체 조명 영역은, 환형 개구내의 내부 조리개의 부재로 인해서 회절 광학 요소(751)에 의해서 형성된 환형 조명 영역의 내부까지 이용될 수도 있다. 따라서 환형 조명은 광손실이 최소로 유지되는 동안 달성될 수도 있다. 또한, 4분 분광 특성을 갖는 제 2 회절 광학 요소(752) 및 원형 조리개(764)의 조합해서 사용하면 회절 광학 요소(751)와 구경

조리개(7650가 함께 사용되는 경우와 유사한 효과를 얻을 수 있다.

그 다음, 리볼버(706A) 내부의 회절 광학 요소(751~753)를 정렬하는 방법에 대해서 설명한다. 각 회절 광학 요소는 도 39에 도시된 바와 같은 보호 컨테이너(770a)에 저장된다. 보호 컨테이너(770)는 회절 광학 요소(751~753)를 지지하기 위한 금속 홀더(770a), 그 금속 홀더(770s)에 의해서 서로 병렬을 유지하며 인접해 있는 한쌍의 보호 광학 부재인 커버 글라스(770b)를 포함한다. 다시 말해서, 회절 광학 요소(751~753)는 광축 방향에서, 한 쌍의 커버 글라스(770b)에 의해서 외부 물체, 자외선에 의해서 방출되는 컨테이너의 최부에서 산소에 의해서 발생하는 가스나 같은 외부 물체로부터 보호된다.

이 경우에 있어서, 외부 물체는 커버 글라스(770b)에만 접촉되므로, 외부 물체의 접촉으로 인해서 투과 비율이 나빠지더라도, 상대적으로 비싼 회절 광학 요소(751~753)를 사용하지 않고도 커버 글라스(770b) 만으로도 간단히 투과 비율을 복구할 수도 있다.

도 29를 다시 참조하면, 회절 광학 장치(751-753)의 회절 표면은 바람직하게는, 회절 광학 장치(751-753)중 어느것으로부터의 회절 광 빔을 인도하는 릴레이 광학 시스템의 전방 초점으로부터 광축 방향을 따라 플라이-아이 렌즈(708)(광학 인터그레이터)내로 오프셋된 위치에 설정된다.

바람직하게는, 플라이-아이 렌즈(708)는 광축상에서 어두운 영역을 갖는 상류 커버글래스를 갖는다. 이러한 어두운 영역은 회절 광학 장치(751-753)에 의해 발생된 0차 회절 광선으로부터 플라이-아이 렌즈(708)를 차폐시켜서 플라이-아이 렌즈(708)를 손상으로부터 방지한다. 이러한 구조에서, 레티클(714) 또는 웨이퍼(716)상에 발생하는 간섭 잡음(간섭 편향)을 감소시킬 수 있다.

#### (실시예 7)

도 40에는 본 발명의 실시예 7에 따른 조명 광학 시스템이 도시되어 있다. 기본 구조는 본 발명의 실시예 6에 도시된 장치와 유사하므로 일반적인 부분 또는 특징에 대한 설명은 생략한다.

제 1 내지 제 3 회절 광학 요소(751~753)가 광로내에 위치되는 경우, 회절 광학 조명을 통과하여 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상으로 방사된 광빔은, 얼룩진 패턴으로 인해서 발생된 잡음 때문에, 불균일한 조명 강도 분포가 될 것이다. 따라서, 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상의 얼룩진 패턴은, 발진 기구 유닛 VB에 의해서 발진되는 리볼버(706A)와 함께 발진하는 회절 광학 요소(751~753)에 의해서 발전된다. 그 결과, 얼룩진 패턴은 노광 시기를 지나면서 평균화되고, 균일한 광 강도 분포가 얻어진다.

또한, 릴레이 렌즈(707)와 플라이-아이 렌즈(708) 사이의 v 형상(뺨기형) 회절 프리즘 DP을 조정하고, 노출 공정하에서 광축 AX와 중심이 거의 일치하는 상기 프리즘의 중심으로 모터 MT3를 회전 시킴으로써, 플라이-아이 렌즈(708)의 입사면 상에 형성된 광 강도 분포는 회전 될 것이다. 그 결과, 회절 광학 요소(751~753)가 발진되는 경우와 같이, 얼룩진 패턴 역시 회전하고, 얼룩진 패턴은 노광 시간 동안에 평균화되며, 균일한 강도를 가지는 광빔이 얻어질 것이다. 회전 광학 요소의 발진이나 회절 프리즘 DP의 사용 또는 둘다 사용될 수도 있을 것이다.

또한, 펄스 광을 방출하는 광원(701)의 경우에 있어서, 얼룩진 패턴은 사전 결정된 다수의 펄스를 넘어서 회절 광학 요소(751~753)가 이동하거나 굴절함으로써 평균화될 것이다.

#### (실시예 8)

도 41의 (a)은 본 발명의 실시예 8에 따른 조명 광학 장치의 일부에 대한 개략도이다. 본 실시예에서, 적어도 두 광 인터그레이터 사이의 일부 릴레이 렌즈의 위치 또는 자세가 변경된다. 결과적으로, 적어도 하류 광학 인터그레이터상의 조명 영역의 위치 매칭 및 크기 변경이 수행되고, 불균일한 조명의 조정 및 텔레센트리시티(telecentricity)의 조정은 웨이퍼 상에서 수행된다. 도 41의 (a)에는, 상류 광학 인터그레이터(제 1 광학 인터그레이터)와 하류 광학 인터그레이터(제 2 광학 인터그레이터)간의 구조가 도시되어 있다.

도 41의 (a)에 있어서, 제 1 광 인터그레이터(805)로부터 제 2 광 인터그레이터까지의 광빔을 인도하는 릴레이 광학 시스템(807)은 전면 그룹(807a) 및 후면 그룹(807b)로 이루어진다. 또한, 진동 미러(807c)가 전면 그룹(807a)과 후면 그룹(807b) 사이에 정렬된다. 도 41의 (a)에는 진동 미러(807c)에 의한 폴드된 광로를 폴드되지 않은 상태로 도시되어 있다. 전면 그룹(807a) 및/또는 후면 그룹(807b)은 광축에 대해서 직각을 이루는 한쌍의 축 주변에서 3차원 순간 이동 및 작은 회전이 가능하도록 정렬된다. 진동 메카니즘(872)은 전면 그룹(807a) 및/또는 후면 그룹(807b)에 연결되어, 적어도 전면 그룹(807a) 또는 후면 그룹(807b)의 위치 및 자세를 변경한다.

진동 메카니즘(872)은, 제 1 광 인터그레이터에 의해서 형성된 조명 영역과 플라이-아이 렌즈(808)의 입사면 사이에 위치 매칭이 수행되도록, 전면 그룹(807a) 및 후면 그룹(807b)을 광축에 대해서 직각으로 이동시키거나, 광축에 대해서 경사지게 한다.

또한, 구동 메카니즘(873)은, 진동 미러(807c)의 광축에 대해서 수직인 한쌍의 축 주변에서 3차원 순간 이동 또는 작은 회전이 가능하도록, 진동 미러(807c)에 대해서 제공된다. 간섭 잡음이 감소되도록 노출 시간동안 진동 미러(807c)의 각도를 변경하는 구동 메카니즘은 여기에서 도시되지 않고, 구동 메카니즘(873)으로부터 분리되게 제공된다. 제 2 광학 인터그레이터상의 조명 영역의 위치 정합은 광축에 수직인 방향에 대해 진동 미러(807c)를 기울임으로써 수행될 수 있다.

플라이-아이 렌즈(808)의 입사면상의 조명 영역의 크기는 구동 메카니즘(872)을 이용하여 적어도 선두 그룹(807a) 또는 후미 그룹(807b)을 광학 축쪽으로 이동시킴으로써 조절될 수 있다. 이 경

우, 적어도 선두 그룹(807a) 또는 후미 그룹(807b)을 광학 축쪽으로 이동시키기 때문에, 릴레이 광학 시스템(807) 자체의 디포메이션이 변화되고, 릴레이 광학 시스템(807)에 의해 형성된 이미지의 위치가 광학 축쪽으로 이동된다. 그러므로, 플라이-아이 렌즈(808)에 의해 형성된 표면 광원이 변화되어, 웨이퍼 상에서 적어도 불균일한 조명 또는 텔레센트리시티(telecentricity)의 조절이 가능하게 된다.

전술한 구동 메카니즘(872, 873)을 적절하게 동작시킴으로써, 레티클의 패턴 표면 상에서 또는 웨이퍼의 노광 표면 상에서, 불균일한 조명 및 텔레센트리시티를 정확하게 조절할 수 있다. 그러므로, 텔레센트리시티는 웨이퍼(716) 등으로 입력되는 조명 광 빔의 약간의 기울기 및 웨이퍼(716)의 노광 표면 등의 위에서의 이미징 등방성(imaging isotropy)을 의미한다. 불균일한 조명 및 텔레센트리시티는 플라이-아이 렌즈(808)의 후미 단계에 제공되는 콘덴서 광학 시스템에 포함된 광학 엘리먼트를 시프팅 또는 경사지게 함으로써 조절되며, 보다 정밀한 조절은 플라이-아이 렌즈의 선두 단계에 제공된 릴레이 렌즈(807)를 구성하는 광학 엘리먼트의 미세한 이동을 조합함으로써 가능하다.

도 41의 (b)는 접하지 않은 상태에서 실시예 8의 변형예의 조명 광학 시스템의 일부를 도시하는 개략도이다. 이 실시예에서, 릴레이 광학 시스템은 고정 초점 렌즈 광학 시스템인 릴레이 광학 시스템과는 반대되는 것으로서, 연속적인 가변 초점 길이를 갖는 줌(zoom) 광학 시스템으로서 구성된다.

도 41의 (b)에서, 제 1 광학 인터그레이터(905)로부터 2차 광학 인터그레이터(908)로 광선을 안내하는 릴레이 광학 시스템(907)은, 제 1 광학 인터그레이터(905) 축으로부터 다음과 같은 순서로, 즉 포지티브 렌즈 그룹(907a), 네거티브 렌즈 그룹(907b), 포지티브 렌즈 그룹(907c), 포지티브 렌즈 그룹(907d)의 순서로 이들 렌즈 그룹들을 포함한다. 복수의 렌즈 그룹들(907a-907d) 중에서, 렌즈 그룹(907b-907d)은 도면에서 화살표로 도시된 바와 같이 사전결정된 트랙을 따라 광학 축의 방향으로 이동할 수 있다. 릴레이 광학 시스템(907)의 초점 길이는 렌즈 그룹(907b-907d)의 이동에 의해 변환된다.

렌즈 그룹들(907a-907d) 중 적어도 하나의 그룹은, 초점 길이를 변화시키기 위해, 전술한 이동과는 무관하게 광학 축의 방향으로 이동하도록 구성된다. 이러한 이동에 의해, 릴레이 광학 시스템(907) 자체의 디포메이션이 변화되고, 릴레이 광학 시스템(907)에 의해 형성된 이미지의 광학 축 방향에서의 위치 또한 변화된다. 결과적으로, 2차 광학 인터그레이터(908) 상에서 형성되는 이미지는 초점에서 벗어나게 되며, 2차 광학 인터그레이터(908)에 의해 형성된 표면 광원이 변화된다.

구동 메카니즘(972)은 초점 길이 변화 동안 광학 축 방향으로 이동하는 렌즈 그룹들(907b-907d) 중 적어도 하나의 그룹에 접속되거나, 또는 디포커싱 동안 광학 축을 따라 이동하는 렌즈 그룹들(907a-907d)에 접속된다. 구동 메카니즘(972)은 이미지화될 레티클의 유형에 대응하는 정보를 수신하는 입력 유닛에 접속된 제어 시스템에 의해 제어된다. 보다 구체적으로, 제어 시스템은 구동 메카니즘(972)을 제어하여, 복수의 렌즈 그룹들(907b-907d)의 위치가 레티클의 유형에 대응하는 정보에 기초해 원하는 위치로 변화되도록 한다. 더욱이, 구동 메카니즘(972)은 각각의 렌즈 그룹(907a-907d)의 위치를 광학 축의 방향에서 변화시킨다.

이 때, 레티클의 유형 또는 조명 조건, 그리고 각각의 렌즈 그룹의 위치는 제어 시스템에 접속된 메모리 내에 사전 저장될 수 있으며, 구동 메카니즘(972)의 제어는 메모리 내에 저장된 데이터를 참조함으로써 수행될 수 있다. 그러므로, 웨이퍼 표면 상에서의 세기 분포(intensity distribution)가 측정될 수 있고, 메모리에 저장된 데이터는 그러한 측정의 결과를 이용하여 갱신될 수 있다.

더욱이, 레티클의 유형이나, 또는 각각의 렌즈 그룹의 위치 간의 관계와 관련된 메모리에 데이터를 저장하는 대신에, 각각의 렌즈 그룹의 이동량과 불균일한 조명의 변화량 간의 관계와 관련된 데이터를 사전에 저장할 수 있고, 각각의 렌즈 그룹은 관계식을 기초로 하여 동작하도록 제어될 수 있다.

웨이퍼 표면 상에서의 세기 분포를 측정하는 조명계는 제어 시스템에 사전 접속되어, 각각의 렌즈 그룹의 위치가 조명계에 의해 측정된 웨이퍼 표면 상에서의 세기 분포에 따라 변화되도록 할 수 있다.

릴레이 광학 시스템(907)의 렌즈 그룹들(907a-907d) 중 적어도 하나의 그룹은 광학 축에 수직인 표면 상에서 이동가능하도록 만들어지고/지거나, 광학 축에 수직인 방향에 대하여 경사지도록 만들어질 수 있다.

이제, 전술한 회절 광학 장치(751)가 제 1 광학 인터그레이터(905)로서 채택된 경우를 설명한다. 이 경우, 릴레이 광학 시스템(907)의 초점 길이를 변화시킴으로써, 2차 광학 인터그레이터(908) 상에 형성된 조명 영역의 링(ring) 율(ratio)을 일정하게 유지하면서도, 링의 외경이 변화되도록 할 수 있다. 더욱이, 릴레이 광학 시스템(907)의 이미징 위치를 디포커싱함으로써, 링 비율을 변화시킬 수도 있다.

본 실시예의 경우, 릴레이 광학 시스템을 위해 4 그룹 줌 렌즈가 채택되었지만, 이러한 4 그룹 줌 렌즈 대신에 2 그룹 줌 렌즈, 3 그룹 줌 렌즈 또는 5 그룹 줌 렌즈를 채택할 수도 있다. 릴레이 광학 시스템(907) 자체로부터의 이미지를 일정하게 유지하면서, 초점 길이를 변화시키기 위해서는, 릴레이 광학 시스템(907)이 적어도 2 개의 이동가능한 렌즈 그룹을 갖도록 구성하는 것만으로도 충분하다. 초점 길이를 변화시키는 시간 동안 이미지 위치를 일정하게 유지하면서도, 2차 광학 인터그레이터(908)에서 텔레센트리시티를 일정하게 유지하기 위해, 릴레이 광학 시스템(907)에서의 이동가능한 렌즈 그룹은 3 또는 그 이상의 그룹의 줌 렌즈인 것이 바람직하다.

파(wave)면 분할형 인터그레이터 및 내부 표면 반사형 인터그레이터를 사용하는 조명 장치에서, 서로 켈레(conjugate)일 파면 분할형 광학 광학 인터그레이터의 방출(exit) 표면 및 내부 표면 반사형 인터그레이터의 입사면의 배열을 위한 광학 시스템은 상기 2 개의 인터그레이터 사이에 배열될 수 있다. 이러한 조명 장치를 상기 예에 적용하는데 있어서는, 2 개의 인터그레이터 사이에 배열된 광학 시스템 부분의 자세 및/또는 위치가 변화되도록 만드는 것으로도 충분하다.

더욱이, 전술한 변화는 앞에서 언급한 실시예들 중 소정의 실시예에 적용될 수 있다. 예를 들어, 실시예 2 내지 4에 적용시, 제 1 플라이-아이 렌즈(6)와 제 2 플라이-아이 렌즈(8) 사이의 릴레이 광학 시스템(7)(또는 7a)은 릴레이 광학 시스템(907)으로 대체될 수 있다.

실시예 1에 적용된 것으로서, 회절 광학 장치(6)와 제 1 플라이-아이 렌즈(8) 사이의 릴레이 광학 시스템(7)은 릴레이 광학 시스템(907)으로 대체될 수 있다.

도 23에 도시된 실시예 5에 적용된 것으로서, 특수 플라이-아이 렌즈(606)와 플라이-아이 렌즈(608) 사이의 릴레이 광학 시스템(607)은 릴레이 광학 시스템(907)으로 대체될 수 있다.

실시예 6에 적용된 것으로서, 회절 광학 장치(751)(-753)와 플라이-아이 렌즈(708) 사이의 릴레이 광학 시스템(707)은 릴레이 광학 시스템(907)으로 대체될 수 있다.

앞서 언급된 실시예 1 내지 8을 조합하는 것도 가능하다.

(실시예 9)

도 42는 본 발명의 실시예 9의 조명 광학 시스템의 개략도이다. 본 실시예에서, 실시예 1의 마이크로 렌즈 어레이(4), 실시예 3의 회절 광학 장치(6b), 실시예 6의 회절 광학 장치(753)는 터렛(turret) T1에 부착되어 있다. 이들 장치 중 하나가 선택되어, 조명 광로 내로 삽입된다. 더욱이, 실시예 1의 회절 광학 장치(6) 및 실시예 3의 플라이-아이 렌즈(마이크로 렌즈 어레이)(4)는 터렛 T2에 부착된다. 더욱이, 터렛 T2는 또한 개구(aperture)(홀(hole)) H를 포함한다. 이들 장치 중 하나 및 홀 H가 선택되어, 조명 광로 내에 배열된다.

배율(magnification) 릴레이 광학 시스템의 복수의 세트 Re1, Re2 및 광로 지연 광학 시스템 RT는 레이저 광원(1)과 터렛 T1 사이에 배열된다. 광로 지연 광학 시스템은 일본 무심사 특허 공개 평성제 11-174365 호 및 1999년 4월 27일자로 출원된 미국 특허 출원 제 09/300,660 호에 개시되어 있다. 이러한 개시 내용은 본 명세서에서 참조로 인용된다. 터렛 T1과 터렛 T2 사이에는 실시예 1 내지 4에 개시된 무한초점(afocal) 줌 광학 시스템(5)이 배열되고, 터렛 T2와 플라이-아이 렌즈(8) 사이에는 줌 광학 시스템(7)이 배열된다.

조명 광로 상에서, 터렛 T1 상에 마이크로 어레이 렌즈(4)를 설정하고, 터렛 T2 상에 회절 광학 장치(6)를 설정함으로써, 원형의 조명이 획득된다. 더욱이, 조명 광로에서, 터렛 T1 상에 회절 광학 장치(6b)를 설정하고, 터렛 T2 상에 플라이-아이 렌즈(4)를 설정함으로써, 4 극자(quadrupolar) 조명이 획득된다. 조명 광로에서 터렛 T1 상에 회절 광학 장치(753)을 설정하고, 터렛 T2 상에 홀 H를 설정함으로써, 일정한 원형 조명이 획득된다.

(실시예 10)

도 43은 본 발명의 실시예 10에 따른 조명 광학 시스템의 개략도이다.

광원(101)은 KrF(발진 파장 248nm) 또는 ArF 엑시머 레이저 광원(발진 파장 193nm)인 것이 바람직하지만, 다른 광원을 사용할 수도 있다. Y 축의 방향으로 광원(1001)으로부터 방사된 거의 평행한 광 빔이 배율 릴레이 광학 시스템(1002)을 통해 회절 광학 장치(1004)로 입력된다.

회절 광학 장치(1004)는 사각 단면을 갖는 입력되는 엑시머 레이저 빔을 변환 및 방사하여, 회절 광학 장치(1004)의 파 필드(far field)(프라운호퍼(Fraunhofer) 회절 영역)에서 거의 링 형상의 단면을 갖도록 한다. 회절 광학 장치(1004)는 실시예 6의 회절 광학 장치(751)와 동등하다. 여기서, 회절 광학 장치(1004)는 실시예 6에서의 회절 광학 장치(752)와 동등한 회절 광학 장치(1004b)와 상호교환가능하고, 또한 회절 광학 장치(753)와 동등한 회절 광학 장치(1004c)와 상호교환가능한 방법으로 제공된다.

회절 광학 장치(1004)의 하부 축에서, 렌즈 그룹(1005A)과, 오목한 콘(cone) 형상의 굴절 표면을 갖는 오목 프리즘 부재(1005B)와, 오목 프리즘 부재(1005B)의 오목한 표면과 대향하는 볼록한 콘 굴절 표면을 갖는 볼록 프리즘 부재(1005C)와, 렌즈 그룹(1005D)을 갖는 링 비율 가변 광학 시스템(1005)이 배열되어 있다.

볼록 프리즘 부재(1005C)는 조명 장치의 광학 축을 따르는 방향으로 이동가능하다. 볼록 프리즘 부재(1005C)를 이동하는 대신에, 오목 프리즘 부재(1005B)가 이동될 수도 있고, 오목 프리즘 부재(1005B)와 볼록 프리즘 부재(1005C) 모두 이동될 수도 있다. 여기서, 오목 프리즘 부재(1005B)의 순서 및 볼록 프리즘 부재(1005C)의 순서는 역으로 될 수도 있다.

링 비율 가변 광학 시스템(1005)의 아래로는, 복수의 렌즈 그룹을 갖는 줌 광학 시스템(1007)이 배열된다. 실시예 8에서의 줌 광학 시스템(907)과 동등한 줌 광학 시스템, 예를 들면 줌 광학 시스템(1007)이 사용된다.

줌 광학 시스템(1007)의 아래로는, 플라이-아이 렌즈(1008)가 파면 분할형 광학 인터그레이터로서 배열되며, 플라이-아이 렌즈(1008)의 아래로는, 가변 구경 조리개(1009)가 배열된다.

플라이-아이 렌즈(1008)의 방출 축에서, 가변 구경 조리개(1009), 콘덴서 렌즈(1010), 조명 필드

정지부(1018) 및 조명 필드 정지부 이미징 광학 시스템(1019)이 배열된다. 광 빔의 일부를 제한하는 가변 구경 조리개(609)의 기능 때문에, 플라이-아이 렌즈(1008)로부터의 광 빔은 링 형상 표면 광원을 형성한다. 콘덴서 렌즈(1010)에 의해 중첩된 후, 링 형상 표면 광원으로부터의 광 빔은 조명 필드 정지부(1018)를 조명한다. 조명 필드 정지부 이미징 광학 시스템(1019) 때문에, 조명 필드 정지부(1018)의 개구 유닛 및 레티클(1011)은 수직으로 켈레 관계에 있으며, 조명 필드 정지부(1018)의 개구 유닛의 이미징 조명 영역이 레티클(1011) 상에 형성된다.

본 실시예에서, 레티클(1011)로부터 웨이퍼(1013)까지의 시스템은 전술한 실시예들과 유사하므로, 더 이상의 설명은 생략한다.

이제, 각 부재들의 켈레 관계에 대해 기술한다. 우선, 가변 구경 조리개(1009)는 조명 장치의 동공 표면에 배열되며, 조명 장치의 동공 표면에 거의 켈레인 위치들은 줌 광학 시스템(1007)의 선두 측면(입사 측면) 초점면, 회절 광학 장치(1004)의 회절 표면 및 조명 필드 정지부 이미징 광학 시스템(1019)의 동공이다. 여기서, 회절 광학 장치(1004)의 회절 표면은 동공 켈레 표면에 대한 디포커스 위치에 설정될 수 있다.

플라이-아이 렌즈(1008)의 입사면은 웨이퍼(1013)에 켈레인 위치에 위치되며, 웨이퍼(1013)에 거의 켈레인 그 위치들은 링 비율 가변 광학 시스템(1005)의 동공 표면(렌즈(그룹)(1005A)의 후미 초점 및 렌즈(그룹)(1005D)의 선두 초점이 일치하는 표면)과, 상기 플라이-아이 렌즈(1008) 및 조명 필드 정지부(1018)의 입사면과, 레티클(1011)의 패턴 표면이다.

링 비율 가변 광학 시스템(1005)에서, 오목한 콘 프리즘(1005B)은 회절 광학 장치(1004)에 의해 회절된 거의 링 형상의 단면을 갖는 광 빔을 수신한다. 오목한 콘 프리즘(1005B)과 볼록한 콘 프리즘(1005C) 사이의 거리를 변화시킴으로써, 링 비율 가변 광학 시스템(1005)로부터 줌 광학 시스템(1007)로 방사되는 광 빔의 각도가 변화된다.

줌 광학 시스템(1007)에 의해 수신된 광 빔의 각도가 일단 변화되면, 플라이-아이 렌즈(1008)의 입사면의 근처에 형성된 링 형상 조명 영역의 링의 폭이 일정하게 유지되면서, 외경(내경)이 변화된다. 더욱이, 줌 광학 시스템(1007)의 초점 길이가 변화될 때, 플라이-아이 렌즈(1008)의 입사면의 근처에 형성된 링 형상 조명 영역의 링 비율(링의 내경 및 외경의 비율)이 일정하게 유지되면서, 외경(내경)이 변화된다.

결과적으로, 링 비율 가변 광학 시스템(1005)에서의 프리즘 부재의 이동과 줌 광학 시스템(1007)의 초점 길이를 변화시키는 이동을 조합함으로써, 플라이-아이 렌즈(1008)의 입사면 상에 형성된 링 형상 조명 영역이 임의의 외경(내경) 및 임의의 링 비율을 갖도록 변화될 수 있다. 더욱이, 외경(내경)과, 플라이-아이 렌즈의 방출측 상에 형성된 링 형상 2차 광원의 링 비율이 임의의 값으로 설정될 수 있다.

회절 광학 장치(1004, 1004b, 1004c)를 상호교환하기 위한 제 1 구동 시스템(1022)과, 링 비율 가변 광학 시스템(1005)으로부터의 광 빔의 각도를 변화시키기 위해, 링 비율 가변 광학 시스템(1005)에서의 프리즘 부재들(1005B 및 1005C) 사이의 거리를 변화시키기 위한 제 2 구동 시스템(1023)과, 줌 렌즈(1007)에서의 복수의 렌즈 그룹 중 적어도 하나를 광학 축의 방향으로 이동하여, 줌 렌즈(1007)의 초점 길이를 변화시키기 위한 제 4 구동 시스템(1025)과, 표면 광원(2차 광원)의 크기 및 형상을 지정하기 위해 가변 구경 조리개(1009)를 구동하기 위한 제 5 구동 시스템(1026)과, 투사 광학 시스템(1012)의 개구 수를 지정하기 위해, 투사 광학 시스템(1012)에서의 가변 구경 조리개(1017)를 구동하기 위한 제 6 구동 시스템(1027)이 제공된다. 레티클(마스크)의 유형과 관련된 정보를 입력하기 위한 입력 유닛(1020)과, 입력 유닛(1020)으로부터의 정보에 기초하여 상기 제 1 내지 제 6 구동 시스템(1022 내지 1027)을 제어하는 제어 시스템(1021)이 또한 제공된다.

4 극자(다중 극) 조명을 수행할 때, 회절 광학 장치(1004b)가 조명 경로로 삽입된다. 이 경우, 플라이-아이 렌즈(1008)의 입사면 상에 형성된 4 개의 조명 영역의 위치들은 링 비율 가변 광학 시스템(1005)에서의 프리즘 부재들(1005B 및 1005C) 사이의 거리를 제어함으로써 변화될 수 있으며, 4 개의 조명 영역의 크기는 줌 광학 시스템(1007)의 초점 길이를 변화시킴으로써 변화될 수 있다. 이들 2 개의 광학 시스템(링 비율 가변 광학 시스템(1005) 및 줌 광학 시스템(1007))을 제어함으로써, 조명 장치의 동공 위치에 형성된 4 개의 표면 광원으로부터의 크기 및 거리는 자유롭게 조절될 수 있다.

4 극자 조명을 수행하는데 있어서, 콘 형상 프리즘 부재 대신에 피라미드 형상 프리즘 부재가 바람직하게 사용된다. 이 경우, 콘 형상 프리즘 부재와 피라미드 형상 프리즘 부재의 상호교환은 회절 광학 장치를 상호교환함으로써 자동적으로 실행된다.

정상 조명을 수행할 때, 제 1 구동 시스템(1022)에 의해 회절 광학 장치(1004c)가 조명 광로내로 삽입된다. 이 경우, 조명 장치의 동공 위치에 형성된 원형 표면 광원의 크기는 줌 광학 시스템(1007)의 초점 길이를 변화시킴으로써 자유롭게 조절될 수 있다.

전술한 각각의 실시예에 있어서, 아래의 대부분의 광학 인터그레이터는 바람직하게 300 이상의 파분할 수(적분 수(integral number))를 갖는다. 따라서, 조명되는 표면 상에서의 조명의 불균일성은, 파면 분할형 광학 인터그레이터에 의해 형성된 여러 광원을 포함하는 표면 광원의 에지부가 지정되지 않은 경우에도, 광학 인터그레이터의 방출측 상에 배열된 조명 구경 조리개의 개구 유닛에 의해 감소될 수 있다.

이하, 전술한 내용에 대한 이유를 기술한다. 우선, 복수의 엘리먼트 광학 시스템(복수의 렌즈 표면 또는 복수의 반사 표면)의 각각의 형상이 사각형이고, 파면 분할형 광학 인터그레이터의 입사면 상에 원형 조명 영역이 형성되는 경우가 검사될 것이다. 이 경우, 파면 분할형 광학 인터

그레이터의 적분 수 N(파면 분할 수)이 다음의 수학적식과 같이 주어진다.

$$N = \pi (R^2/d^2)$$

여기서, d는 엘리먼트 광학 시스템의 측면의 길이이고, R은 조명 영역의 반경이다.

파면 분할 광학 인터그레이터의 (상기 조명 영역에 대응하는) 파면 분할 영역에서, 주변 근처에 있는 분할의 수 N은 다음의 수학적식에 의해 주어진다.

$$N = \pi (R/d)$$

여기서, 주변 근처에 있는 분할 영역의 내부는 불균일하게 조명될 수 있으며, 주변 근처의 한 분할 영역에서의 최대 불균일 조명은 100%가 된다. 그러나, 주변 근처의 분할 영역에 도달하는 광빔의 세기는 중심 근처의 영역보다 약하다. 그러므로, 불균일한 조명의 영향은 작아지게 되며, 조명되는 표면 상의 절대 영향의 정도(degree) 또한 작아지게 된다.

전술한 요인들의 포괄적인 분석에 기초하여, 주변 근처의 한 분할 영역에서 발생하는 불균일한 조명은 중심 근처의 영역에서 발생하는 불균일성의 1/3 정도로 평가될 수 있다. 더욱이, 주변 근처 영역에서의 통계적인 임의성(randomness)으로 인해, 주변 근처의 분할 영역의 수 N의 제곱근은 조명되는 표면 상의 불균일한 조명에 대해 영향을 미칠 것이다.

그러므로, 조명되는 표면 상의 불균일한 조명을 1% 이하로 감소시키기 위해, 바람직하게 다음의 수학적식이 만족된다.

$$((1/3)N^{1/2})/N < 0.01$$

상기 수학적식 16 및 17을 수학적식 18에서 대체하면, 다음의 수학적식이 얻어진다.

$$N > 249$$

그러므로, 조명되는 표면 상의 불균일한 조명을 제어하기 위해서는 광학 인터그레이터에 의한 파면 분할 수가 약 300을 초과해야 하며, 이것은 바람직하게 조명 조건이 변화될 때, 조명되는 표면 상의 불균일한 조명이 균일하게 제어되도록 한다.

주사(scanning)형 노광 장치에 적용되는 조명 장치의 광학 인터그레이터에서, 엘리먼트 광학 시스템의 형상은 직사각형이지만, 상기 내용과 유사한 내용이 적용될 수 있다. 더욱이, 상기 내용은 플라이-아이 렌즈 요소와 같은 광학 시스템이 2 차원 매트릭스에 배열되는 인터그레이터를 기초로 하지만, 전술한 내용은 로드형 인터그레이터(광 파이프, 광 터널, 유리 막대)와 같은 내부 반사형 인터그레이터에 적용될 수도 있다.

결론적으로, 광원으로부터의 입사 광빔을 분할하고, 조명되는 표면을 중첩되도록 조명하기 위해 분할 광빔을 사용하는 광학 인터그레이터를 채용하는 조명 장치에서, 광학 인터그레이터에 대한 적분 수는 300 이상으로 설정되는 것이 바람직하다. 결국, 조명되는 표면 상의 불균일한 조명은 광학 인터그레이터의 입사면(파면 분할형 인터그레이터의 경우 및 내부 반사형 인터그레이터의 경우의 입사 광빔의 개시 각도(opening angle)(개구 각도)) 상의 조명 영역이 변하는 경우에도 최소화될 수 있다.

또한, 이상의 실시예에서 이용될 수 있는 회절 광학 요소의 세부 설명은 미국 특허 제 5,850,300 호에 개시되며, 본 명세서에서 참조로 인용된다.

이상의 실시예에서, KrF 엑시머 레이저(파장:248nm) 또는 ArF 엑시머 레이저(파장:193nm) 등을 광원으로서 이용함으로써 180nm 이상의 파장을 갖는 노출광이 이용되므로, 회절 광학 요소, 예컨대, 실리카 그래스를 형성하는 것도 가능하다.

200nm 이하의 파장이 노출광으로 이용된 경우, 회절 광학 요소는, 불소, 불소 도핑된 실리카 그래스, 불소 및 수소로 도핑된 실리카 그래스, 1200K 이하의 구조 결정 온도 및 1000ppm 이상의 애라디알 농도를 갖는 실리카 그래스, 1200K 이하의 구조 결정 온도 및  $1 \times 10^{17}$  분자/cm<sup>3</sup> 이상의 수소 분자 농도를 갖는 실리카 그래스, 1200K 이하의 구조 결정 온도 및 50ppm 이하의 염소 농도, 및 1200K 이하의 구조 결정 온도 및  $1 \times 10^{17}$  분자/cm<sup>3</sup> 이상의 수소 분자 농도 및 50ppm 이하의 염소 농도를 갖는 실리카 그래스중에서 선택된 재료로 형성되는 것이 바람직하다.

1200K 이하의 구조 결정 온도 및 1000ppm 이상의 애라디알 농도를 갖는 실리카 그래스는 본 출원인에 의해 일본 특허 제 2,770,224 호(유럽 특허 720970 B)에 개시되어 있고, 1200K 이하의 구조 결정 온도 및  $1 \times 10^{17}$  분자/cm<sup>3</sup> 이상의 수소 분자 농도를 갖는 실리카 그래스, 1200K 이하의 구조 결정 온도 및 50ppm 이하의 염소 농도, 및 1200K 이하의 구조 결정 온도 및  $1 \times 10^{17}$  분자/cm<sup>3</sup> 이상의 수소 분자 농도 및 50ppm 이하의 염소 농도를 갖는 실리카 그래스는 본 출원인에 의해 일본 특허 2,936,138 호(미국 특허 제 5,908,482 호에 대응)에 개시되어 있다.

또한, 이상 설명된 실시예에서, 플라이-아이 렌즈(8, 608, 708, 808, 908, 1008)은 복수의 렌즈 요소를 통합함으로써 형성되었지만, 마이크로 플라이-아이 렌즈로 제조하는 것도 가능하다. 마이

크로 플라이-아이 렌즈는 광투과성 기판상에 유사한 에칭과 같은 방법에 의해 매트릭스 형상으로 복수의 마이크로렌즈 표면을 제공함으로써 형성된다. 복수의 광원 이미지를 형성하는 것과 관련하여, 플라이-아이 렌즈와 마이크로 플라이-아이 렌즈간에 기능에 있어 재료의 차이는 없지만, 마이크로 플라이-아이 렌즈는 단일 렌즈 요소(마이크로렌즈)의 개구 사이즈를 매우 작게 할 수 있고, 생산 비용을 크게 감소시키고 광축 방향에서 두께를 크게 감소시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한, 입사측 및/또는 방출측 마이크로렌즈 표면은 비구면 형상으로 형성될 수 있다.

### 발명의 효과

본 발명에 의하면, 구경 조리개에서의 광 손실을 만족스럽게 억제하면서 환형 조명 또는 4극자 조명과 같은 수정된 조명을 성취할 수 있는 조명 광 장치를 제공한다.

### (57) 청구의 범위

#### 청구항 1

이미지 투사 장치용 조명 광학 시스템(an illumination optical system)에 있어서,

조명 광을 방출하는 광원과,

상기 광원에 의해 방출된 입사광을 복수의 방향으로 확산시키는 광 빔 형상 변경 요소(a light beam shape changing element)와,

상기 입사광으로부터 복수의 광원 이미지를 형성하되, 상기 광원 이미지는 복수의 방향으로 방출된 복수의 광 빔을 포함하는 각진 광 빔 형성 요소(an angular light beam forming element)와,

상기 광 빔 형상 변경 요소 및 상기 각진 광 빔 형성 요소로부터, 광축으로부터 떨어진 위치에 비해 광축에 가까운 위치에서 보다 저강도의 광이 형성되는 광 강도 분포를 갖는 수정된 조명 형태(a modified illumination configuration)의 광을 수신하여, 그 수신된 광으로부터 수정된 조명 형태를 갖는 2차 광원을 형성하는 광학 인터그레이터(an optical integrator)

를 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 각진 광 빔 형성 요소는 상기 광원으로부터 광을 수신하여, 복수의 광원 이미지를 형성하며,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 상기 복수의 광원 이미지로부터 광을 수신하여 상기 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하도록 상기 광을 확산시키는

조명 광학 시스템.

#### 청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 각진 광 빔 형성 요소는 마이크로 플라이-아이 렌즈이고,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 회절 광학 요소인

조명 광학 시스템.

#### 청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 각진 광 빔 형성 요소와 상기 광 빔 형상 변경 요소 사이에 광학적으로 위치한 제 1 줌 광학 시스템과,

상기 광 빔 형상 변경 요소와 상기 광학 인터그레이터 사이에 광학적으로 위치한 제 2 줌 광학 시스템

을 더 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하여 상기 제 1 줌 광학 시스템의 배율을 변화시켜서 상기 광학

인터그레이터상의 상기 수정된 조명 형태를 변화시키며,

상기 제 2 줌 광학 시스템의 조정하여 상기 제 2 줌 광학 시스템의 초점 길이를 변화시켜서 상기 광학 인터그레이터상의 상기 수정된 조명 형태를 변화시키는

조명 광학 시스템.

**청구항 6**

제 5 항에 있어서,

상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하여 상기 광학 인터그레이터상의 환형 또는 다극 광 형태(an annular or multi-polar light configuration)의 반경을 변화시키며,

상기 제 2 줌 광학 시스템을 조정하여 상기 광학 인터그레이터상의 환형 또는 다극 광 형태의 환형 비율(an annular ratio)을 변화시키는

조명 광학 시스템.

**청구항 7**

제 2 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 상기 각진 광 빔 형성 요소로부터 수신된 광으로부터, 광학 인터그레이터상에 대략 환상(annular shape)으로 링형 조명 패턴의 컴파일레이션을 형성하는 조명 광학 시스템.

**청구항 8**

제 2 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 상기 각진 광 빔 형성 요소로부터 수신된 광으로부터 상기 광학 인터그레이터상에 4개의 조명 패턴 컴파일레이션을 형성하고, 상기 각 컴파일레이션은 대략 직사각형을 가지며 광축으로부터 이격된 조명 광학 시스템.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 상기 광원으로부터 광을 수신하여 복수의 상이한 방향으로 상기 광을 확산시키며,

상기 각진 광 빔 형성 요소는 상기 광 빔 형상 변경 요소로부터 광을 수신하여 상기 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하는

조명 광학 시스템.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 프리즘이며,

상기 각진 광 빔 형성 요소는 마이크로 플라이-아이 렌즈인

조명 광학 시스템.

**청구항 11**

제 9 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소와 상기 각진 광 빔 형성 요소 사이에 광학적으로 위치한 제 1 줌 광학 시스템과,

상기 각진 광 빔 형성 요소와 상기 광학 인터그레이터 사이에 광학적으로 위치한 제 2 줌 광학 시스템

을 더 포함하는 조명 광학 시스템.

**청구항 12**

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하여 상기 제 1 줌 광학 시스템의 배율을 변화시켜서 상기 광학 인터그레이터상에 상기 수정된 조명 형태를 변화시키며,

상기 제 2 줌 광학 시스템을 조정하여 상기 제 2 줌 광학 시스템의 초점 길이를 변화시켜서 상기 광학 인터그레이터상의 상기 수정된 조명 형태를 변화시키는

조명 광학 시스템.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하여 상기 광학 인터그레이터상의 환형 또는 다극 광 형태의 반경을 변화시키고,

상기 제 2 줌 광학 시스템을 조정하여 상기 광학 인터그레이터상의 환형 또는 다극 광 형태의 환형 비율을 변화시키는

조명 광학 시스템.

**청구항 14**

제 12 항에 있어서,

상기 제 1 줌 광학 시스템내에 링형 조명 패턴이 형성되며, 상기 제 1 줌 광학 시스템은 상기 광을 상기 각진 광 빔 형성 요소상에 수렴시키는 조명 광학 시스템.

**청구항 15**

제 9 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 원추형 표면을 갖는 프리즘, 피라미드형 표면을 갖는 프리즘 및 회절 광학 요소중 하나인 조명 광학 시스템.

**청구항 16**

제 9 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 상기 광 빔 형상 변경 요소와 상기 각진 광 빔 형성 요소 사이에 위치한 어떤 다른 요소도 필요없이 상기 각진 광 빔 형성 요소에 인접하여 배치되며, 상기 각진 광 빔 형성 요소와 상기 광학 인터그레이터 사이에 줌 광학 시스템이 광학적으로 위치되는 조명 광학 시스템.

**청구항 17**

제 9 항에 있어서,

상기 광학 인터그레이터는 로드형 광학 인터그레이터(a rod-type optical integrator)인 조명 광학 시스템.

**청구항 18**

제 9 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소와 상기 각진 광 빔 형성 요소 사이에 광학적으로 위치한 제 1 줌 광학 시스템과,

상기 각진 광 빔 형성 요소와 상기 광학 인터그레이터 사이에 광학적으로 위치한 제 2 줌 광학 시스템을 더 포함하되,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 회절 광학 요소이며,

상기 각진 광 빔 형성 요소는 마이크로 플라이-아이 렌즈인

조명 광학 시스템.

**청구항 19**

제 18 항에 있어서,

상기 마이크로 플라이-아이 렌즈는 복수의 렌즈 표면과 복수의 프리즘 표면을 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 복수의 렌즈 표면 및 복수의 프리즘 표면은 서로에 대응하고, 상기 복수의 프리즘 표면중 적어도 몇몇은 제 1 쿼드 프리즘 세트(a first quad prism set)와 제 2 쿼드 프리즘 세트(a second quad prism set)를 형성하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 21

제 18 항에 있어서,

상기 마이크로 플라이-아이 렌즈는 상기 광학 인터그레이터상에, 함께 대략 환형 조명 패턴을 형성하는 복수의 조명 패턴을 형성하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 22

제 1 항에 있어서,

상기 광학 인터그레이터에 의해 형성된 상기 2차 광원의 사이즈 또는 형상을 효과적으로 변화시키는 구경 조리개(an aperture stop)를 더 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 23

제 22 항에 있어서,

상기 구경 조리개는 복수의 교환가능한 개구 사이즈 및 형상을 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 24

제 1 항에 있어서,

상기 각진 광 빔 형성 요소 및 상기 광 빔 형상 변경 요소는 복수의 수정된 조명 형태가 상기 광학 인터그레이터상에 형성될 수 있도록 다른 각진 광 빔 형성 요소 및 다른 광 빔 형상 변경 요소 중 적어도 하나와 각기 교환가능한 조명 광학 시스템.

#### 청구항 25

이미지 투사 장치용 조명 광학 시스템에 있어서,

조명 광을 방출하는 광원과,

상기 광원에 의해 방출된 입사광을 복수의 방향으로 확산시키는 광 빔 형상 변경 요소와,

상기 확산된 광을 수신하는 줌 광학 시스템과,

광축으로부터 먼 위치에 비해 광축에 가까운 위치에서 보다 저강도의 광이 형성되는 광 강도 분포를 갖는 수정된 조명 형태로 상기 줌 광학 시스템으로부터 광을 수신하여, 상기 수신된 광으로부터 수정된 조명 형태를 갖는 2차 광원을 형성하는 광학 인터그레이터

를 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 26

제 25 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 복수의 교환가능한 광학 요소를 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 27

제 26 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 상기 광학 인터그레이터에 상기 줌 광학 시스템과 협력하여 상이한

수정된 조명 형태를 각기 형성하는 교환가능한 복수의 회절 광학 요소를 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 28

제 27 항에 있어서,

상기 복수의 회절 광학 요소중 적어도 하나의 회절 광학 요소는 전송된 광의 위상차를 이용하여 수정된 조명 형태를 형성하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 29

제 25 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는, 조명 영역의 에지(edges)가 광학 인터그레이터내 렌즈 요소의 스캐닝 방향에 대해 경사지도록 상기 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 30

제 25 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 보호 하우징(a protective housing)내에 수용되는 적어도 하나의 요소를 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 31

제 25 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소와 상기 광학 인터그레이터 사이에 광학적으로 위치된 광학 장치와 상기 광 빔 형상 변경 요소중 적어도 하나를 발진시키는 발진기를 더 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 32

제 25 항에 있어서,

상기 광 빔 형상 변경 요소로부터 광을 수신하여 상기 줌 광학 시스템으로 광을 전송하는 환형 비율 가변 광학 시스템(an annular ratio variable optical system)을 더 포함하며,

상기 광 빔 형상 변경 요소는 파 필드(far field)에 환형 조명 패턴을 형성하는 회절 광학 요소이고, 상기 환형 비율 가변 광학 시스템내의 광학 요소들은 광학 인터그레이터에 형성된 환형 조명 패턴의 환형 비율을 변경하기 위해 조정가능한

조명 광학 시스템.

#### 청구항 33

제 32 항에 있어서,

상기 줌 광학 시스템은 상기 광학 인터그레이터에 형성된 환형 조명 패턴의 직경을 변화시키기 위해 조정가능한 조명 광학 시스템.

#### 청구항 34

제 32 항에 있어서,

상기 광학 인터그레이터는 파면 분할형 광학 인터그레이터(a wave front splitting type optical integrator)인 조명 광학 시스템.

#### 청구항 35

이미지 투사 장치용 조명 광학 시스템에 있어서,

조명 광을 발생하는 수단과,

상기 발생된 광을 복수의 상이한 방향으로 확산시키는 수단과,

상기 발생된 광으로부터 복수의 광원 이미지를 형성하는 수단과,

확산되어 상기 복수의 광원 이미지를 형성하기 위해 사용되는 광으로부터 수정된 조명 형태를 갖는 2차 광원을 형성하되, 상기 수정된 조명 형태는, 광축으로부터 먼 위치에 비해 광축에 가까운

위치에서 보다 저강도의 광이 형성되도록 하는 광 강도 분포를 갖는 상기 2차 광원을 형성하는 수단을 포함하는 조명 광학 시스템.

**청구항 36**

표면(surface)을 조명하는 방법에 있어서,  
 조명 광을 발생하는 단계와,  
 상기 발생된 광을 복수의 상이한 방향으로 확산시키는 단계와,  
 상기 발생된 광으로부터 복수의 광원 이미지를 형성하는 단계와,  
 확산되어 상기 복수의 광원 이미지를 형성하는데 사용되는 광으로부터 수정된 조명 형태를 갖는 2차 광원을 형성하되, 상기 수정된 조명 형태는, 광축으로부터 먼 위치에 비해 광축에 가까운 위치에서 보다 저강도의 광이 형성되도록 하는 광 강도 분포를 갖는 상기 2차 광원을 형성하는 단계를 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 37**

제 36 항에 있어서,  
 상기 발생된 광을 확산시키는 단계는 상기 복수의 광원 이미지를 형성하는 단계 이전에 수행되며,  
 상기 복수의 광원 이미지를 형성하는 단계는 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 38**

제 37 항에 있어서,  
 상기 확산된 광에 작용하는 제 1 줌 광학 시스템을 이용하는 단계와,  
 상기 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하도록 상기 복수의 광원으로부터의 광에 작용하는 제 2 줌 광학 시스템을 이용하는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 39**

제 38 항에 있어서,  
 상기 제 1 줌 광학 시스템의 배율을 변화시켜서 상기 광학 인터그레이터상에 상기 수정된 조명 형태를 변화시키도록 상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하는 단계와,  
 상기 제 2 줌 광학 시스템의 초점 길이를 변화시켜 상기 광학 인터그레이터상에 상기 수정된 조명 형태를 변화시키도록 상기 제 2 줌 광학 시스템을 조정하는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 40**

제 39 항에 있어서,  
 상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에 환형 또는 다극 광 형태의 반경을 변화시키는 것을 포함하며,  
 상기 제 2 줌 광학 시스템을 조정하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에 상기 환형 또는 다극 광 형태의 환형 비율을 변화시키는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 41**

제 38 항에 있어서,  
 상기 제 1 줌 광학 시스템을 이용하는 단계는 상기 제 1 줌 광학 시스템내에 링형 조명 패턴을 형성하고 각진 광 빔 형성 요소상에 광을 수렴시키는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 42**

제 37 항에 있어서,

상기 수정된 조명 형태를 형성하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에 대략 환형 형상으로 링형 조명 패턴의 컴파일레이션을 형성하는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 43**

제 37 항에 있어서,

상기 수정된 조명 형태를 형성하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에, 각기 대략 직사각 형상을 갖고 광축으로부터 이격된 4개의 조명 패턴 컴파일레이션을 형성하는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 44**

제 36 항에 있어서,

상기 발생된 광을 확산시키는 단계는 상기 복수의 광원 이미지를 형성하는 단계 후에 수행되며,  
 상기 발생된 광을 확산시키는 단계는 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하는 것을 포함하는  
 표면 조명 방법.

**청구항 45**

제 44 항에 있어서,

상기 복수의 광원으로부터의 광에 작용하는 제 1 줌 광학 시스템을 이용하는 단계와,  
 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하도록 상기 확산된 광에 작용하는 제 2 줌 광학 시스템을 이용하는 단계  
 를 더 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 46**

제 45 항에 있어서,

상기 제 1 줌 광학 시스템의 배율을 변화시켜서 상기 광학 인터그레이터상에 상기 수정된 조명 형태를 변화시키도록 상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하는 단계와,  
 상기 제 2 줌 광학 시스템의 초점 길이를 변화시켜서 상기 광학 인터그레이터상에 상기 수정된 조명 형태를 변화시키도록 상기 제 2 줌 광학 시스템을 조정하는 단계  
 를 더 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 47**

제 46 항에 있어서,

상기 제 1 줌 광학 시스템을 조정하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에 환형 또는 다극 광 형태의 반경을 변화시키는 것을 포함하며,  
 상기 제 2 줌 광학 시스템을 조정하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에 상기 환형 또는 다극 광 형태의 환형 비율을 변화시키는 것을 포함하는  
 표면 조명 방법.

**청구항 48**

제 44 항에 있어서,

상기 수정된 조명 형상을 형성하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에 대략 환형 형상으로 링형상의 조명 패턴의 컴파일레이션을 형성하는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 49**

제 44 항에 있어서,

상기 수정된 조명 형태를 형성하는 단계는 상기 광학 인터그레이터상에, 각기 대략 직사각 형상을 갖고 광축으로부터 이격된 4개의 조명 패턴 컴파일레이션을 형성하는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 50**

제 36 항에 있어서,

상기 복수의 광원 이미지를 형성하는 단계는 상기 복수의 광원 이미지를 형성하기 위해 마이크로 플라이-아이 렌즈를 이용하는 것을 포함하며,

상기 확산시키는 단계는 상기 발생된 광을 확산시키기 위해 회절 광학 요소를 이용하는 것을 포함하는

표면 조명 방법.

**청구항 51**

제 36 항에 있어서,

상기 발생된 광을 확산시키는 단계는 원추형 표면을 갖는 프리즘, 피라미드형 표면을 갖는 프리즘 및 회절 광학 요소중 하나를 이용하여 상기 발생된 광을 확산시키는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 52**

제 36 항에 있어서,

상기 복수의 광원 이미지를 형성하는 단계는 광학 인터그레이터상에, 함께 대략 환형 조명 패턴을 형성하는 복수의 조명 패턴을 형성하기 위해 마이크로 플라이-아이 렌즈를 이용하는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 53**

제 36 항에 있어서,

다른 수정된 조명 형태가 광학 인터그레이터상에 형성될 수 있도록 각진 광 빔 형성 요소와 광 빔 형상 변경 요소중 적어도 하나를 다른 각진 광 빔 형성 요소와 다른 광 빔 형상 변경 요소로 교환하는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 54**

이미지 투사 장치를 이용하여 표면을 조명하는 방법에 있어서,

조명 광을 방출하는 단계와,

상기 방출된 광을 복수의 방향으로 확산시키는 단계와,

상기 확산된 광에 작용하는 줌 광학 시스템을 이용하는 단계와,

상기 줌 광학 시스템으로부터 수신된 광으로부터 2차 광원을 형성하되, 상기 수신된 광은, 수정된 조명 형태의 광 강도 분포가 광축으로부터 먼 위치에 비해 상기 광축에 가까운 위치에서 보다 저 강도의 광을 갖는 광 강도 분포의 상기 수정된 조명 형태를 갖는 상기 2차 광원을 형성하는 단계

를 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 55**

제 54 항에 있어서,

상기 줌 광학 시스템과 협력하여 광학 인터그레이터에 상이한 수정된 조명 형태를 각기 형성하는 복수의 회절 광학 요소를 교환하는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

**청구항 56**

제 54 항에 있어서,

상기 방출된 광을 확산시키는 단계는 수정된 조명 형태를 형성하기 위해 전송된 광의 위상차를 이용하는 것을 포함하는 표면 조명 방법.

#### 청구항 57

제 54 항에 있어서,

조명 영역의 에지가 상기 광학 인터그레이터내의 렌즈 요소의 스캐닝 방향에 대해 경사지도록 상기 광학 인터그레이터상에 수정된 조명 형태를 형성하는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

#### 청구항 58

제 54 항에 있어서,

상기 방출된 광을 확산시키는 광 빔 형상 변경 요소와 상기 광 빔 형상 변경 요소와 상기 광학 인터그레이터 사이에 광학적으로 위치된 광학 장치중 적어도 하나를 발진시켜서 상기 광학 인터그레이터에 의해 형성된 상기 수정된 조명 형태내의 얼룩(speckle)을 감소시키는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

#### 청구항 59

제 54 항에 있어서,

상기 방출된 광을 확산시킴으로써 형성된 환형 조명 패턴의 링 비율을 변화시키는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

#### 청구항 60

제 59 항에 있어서,

상기 증 광학 시스템내의 요소들을 조정함으로써 상기 환형 조명 패턴의 직경을 조정하는 단계를 더 포함하는 표면 조명 방법.

#### 청구항 61

이미지 투사 장치용 조명 광학 시스템에 있어서,

조명 광을 방출하는 광원과,

상기 광원으로부터의 광을 회절시켜서 상기 광원으로부터의 광의 파면(wave-front)을 분할하는 회절 광학 장치와, 상기 광원으로부터의 광을 사전결정된 평면에서 사전결정된 단면 형상을 갖는 광으로 변환하는 광학 장치를 갖는 광 빔 변환기와,

상기 광 빔 변환기로부터의 광에 기초하여 실질적으로 평면형 광원을 형성하는 광학 인터그레이터와,

상기 광학 인터그레이터로부터의 광을 인도하는 광학 시스템

을 포함하되,

상기 회절 광학 장치의 회절 특성은 상기 사전결정된 평면에서 광 강도 분포의 회절 특성을 위해 변경가능한 조명 광학 시스템.

#### 청구항 62

제 61 항에 있어서,

상기 광 빔 변환기는 제 1 회절 특성을 갖는 제 1 회절 광학 장치와, 제 2 회절 특성을 갖는 제 2 회절 광학 장치를 포함하며,

상기 제 1 및 제 2 회절 광학 장치는 상기 시스템의 광로내 위치와 상기 광로 외측의 위치중에 선택적으로 위치될 수 있는

조명 광학 시스템.

#### 청구항 63

제 61 항에 있어서,

상기 광 빔 변환기내의 상기 회절 광학 장치는 상기 사전결정된 평면의 중앙 영역과 상기 사전결정된 평면의 주변 영역간에 광 강도가 상이한 광 강도 분포를 갖는 회절 특성을 포함하는 조명 광

학 시스템.

#### 청구항 64

이미지 투사 장치용 조명 광학 시스템에 있어서,  
 사전결정된 파장을 갖는 조명 광을 방출하는 광원과,  
 실질적으로 평면의 광원을 형성하는 파면 분할형 광학 인터그레이터(a wave front dividing type optical integrator)와,  
 상기 파면 분할형 광학 인터그레이터로부터의 광을 중첩되는 방식으로 마스크 표면 또는 마스크 켈레 표면(a mask conjugate surface)내로 인도하는 집광기와,  
 상기 광원과 상기 파면 분할형 광학 인터그레이터 사이에 배치되며, 상기 광원으로부터의 광을 회절시켜서 상기 광원으로부터의 광의 파면을 분할하는 회절 광학 장치와, 상기 광원으로부터의 광을 사전결정된 평면에서 사전결정된 단면 형상을 갖는 광으로 변환하는 광학 장치를 갖는 광 빔 변환기  
 를 포함하되,  
 상기 파면 분할형 광학 인터그레이터의 입사면은 사실상 상기 사전결정된 평면에 배치되는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 65

제 64 항에 있어서,  
 상기 광 빔 변환기는 제 1 회절 특성을 갖는 제 1 회절 광학 장치와 제 2 회절 특성을 갖는 제 2 회절 광학 장치를 포함하며,  
 상기 제 1 및 제 2 회절 광학 장치는 상기 시스템의 광로내 위치와 상기 광로 외측 위치중에서 선택적으로 위치될 수 있는  
 조명 광학 시스템.

#### 청구항 66

제 64 항에 있어서,  
 상기 광 빔 변환기내의 상기 회절 광학 장치는 상기 사전결정된 평면의 중앙 영역과 상기 사전결정된 평면의 주변 영역간에 광 강도가 상이한 광 강도 분포를 갖는 회절 특성을 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 67

이미지 투사 장치용 조명 광학 시스템에 있어서,  
 조명 광을 방출하는 광원과,  
 상기 광원으로부터의 광을 회절시키는 회절 광학 장치를 구비하여, 상기 광을 사전결정된 평면에서 사전결정된 단면 형상을 갖는 광으로 변환하는 광 빔 변환기와,  
 상기 광 빔 변환기로부터의 광에 기초해 실질적으로 평면의 광 빔을 형성하는 광학 인터그레이터와,  
 상기 광학 인터그레이터로부터의 광을 인도하는 광학 시스템  
 을 포함하되,  
 상기 회절 광학 장치는 한쌍의 커버링 광학 부재(a pair of covering optical member)에 의해 형성되는 폐쇄 공간에 배치되는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 68

제 67 항에 있어서,  
 상기 광 빔 변환기내의 상기 회절 광학 장치는 상기 사전결정된 평면의 중앙 영역과 상기 사전결정된 평면의 주변 영역간에 광 강도가 상이한 광 강도 분포를 갖는 회절 특성을 포함하는 조명 광학 시스템.

#### 청구항 69

이미지 투사 장치 스캐닝용 조명 광학 시스템에 있어서,  
 조명 광을 방출하는 광원과,  
 상기 광원으로부터의 광을 회절시키는 회절 광학 장치와,  
 상기 회절 광학 장치로부터의 광에 기초해 실질적으로 평면의 광원을 형성하는 광학 인터그레이터  
 를 포함하되,  
 상기 광학 인터그레이터는 스캐닝 방향에 대응하는 방향을 갖는 복수의 광학 요소를 포함하고,  
 상기 회절 광학 장치는 상기 복수의 광학 요소상에 조명 영역(an illumination region)을 형성하  
 며,  
 상기 조명 영역은 상기 스캐닝 방향에 대응하는 상기 방향으로 경사진 에지를 갖는 조명 광학 시  
 스템.

**청구항 70**

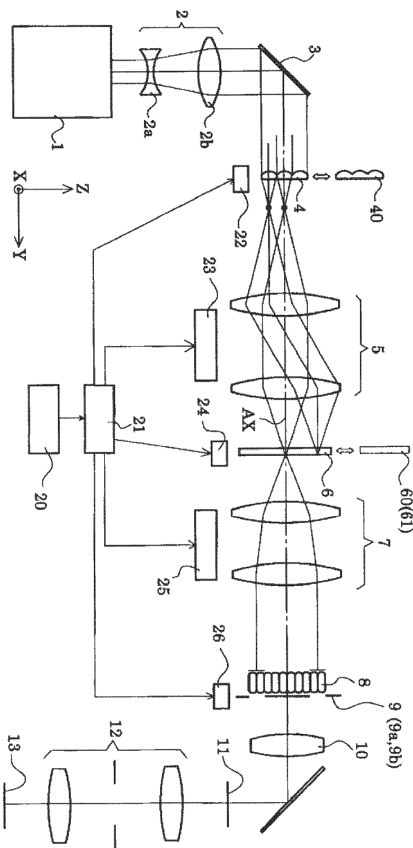
제 69 항에 있어서,  
 상기 조명 영역은 서로 분리된 복수의 조명 서브영역(an illumination subregions)을 갖는 조명  
 광학 시스템.

**청구항 71**

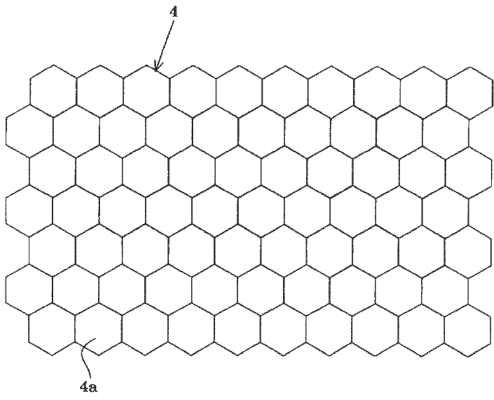
제 70 항에 있어서,  
 상기 조명 서브영역은 실질적으로 타원 형상을 갖는 조명 광학 시스템.

**도면**

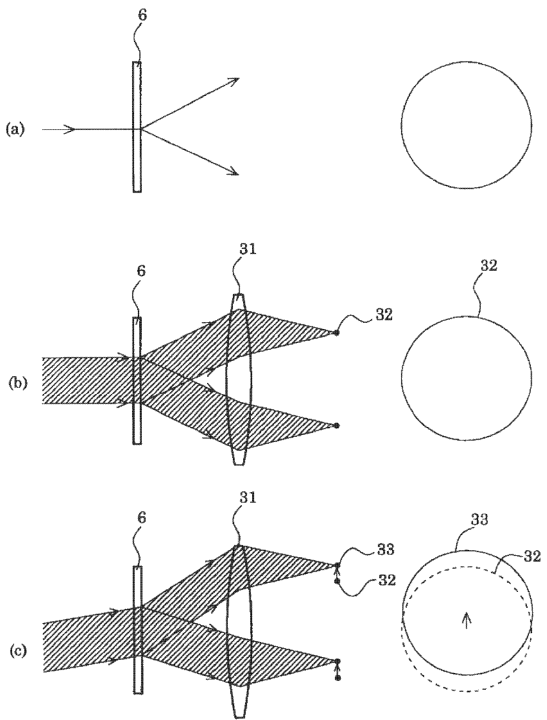
**도면1**



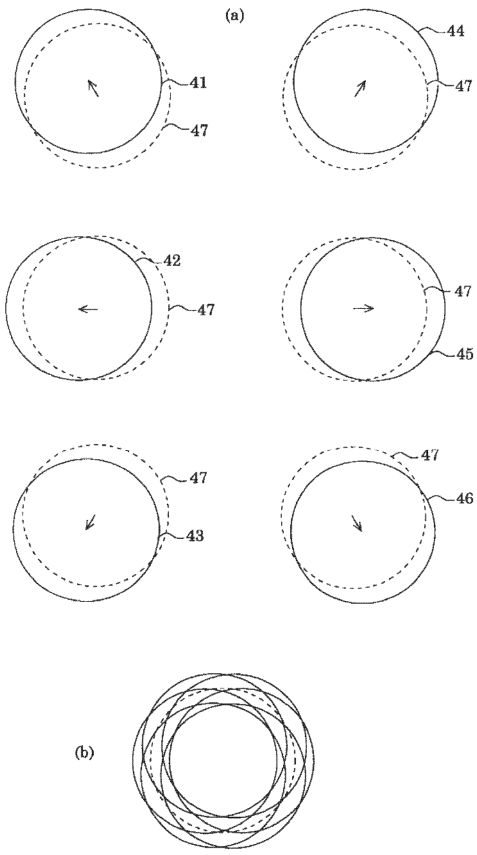
도면2



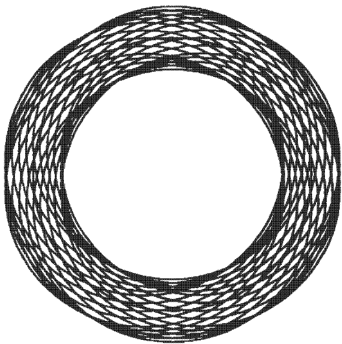
도면3



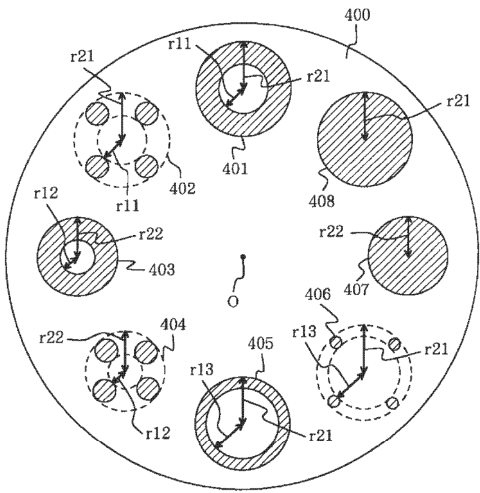
도면4



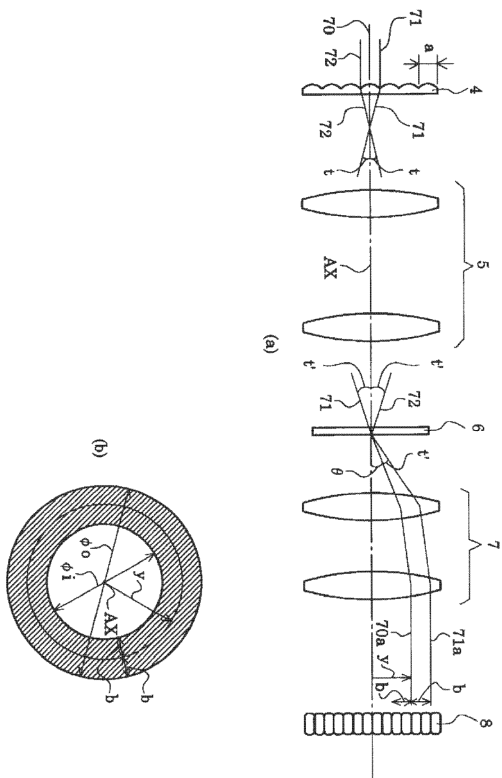
도면5



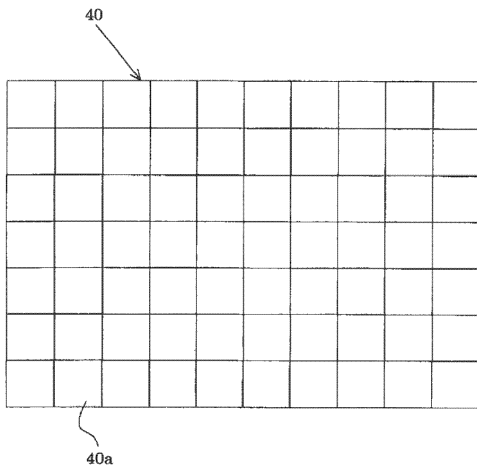
도면6



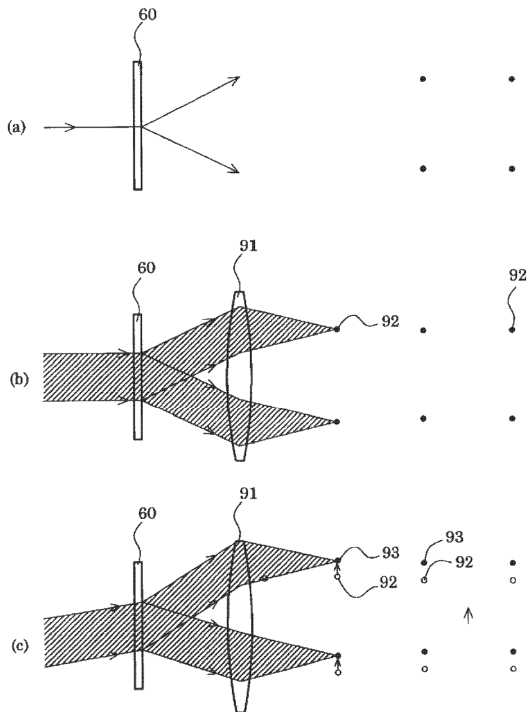
도면7



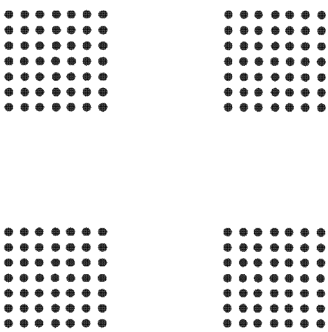
도면8



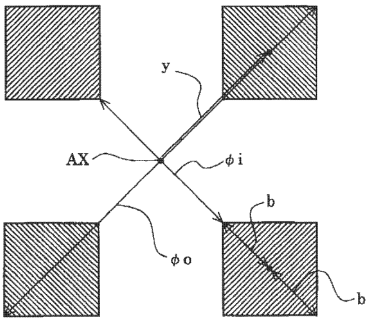
도면9



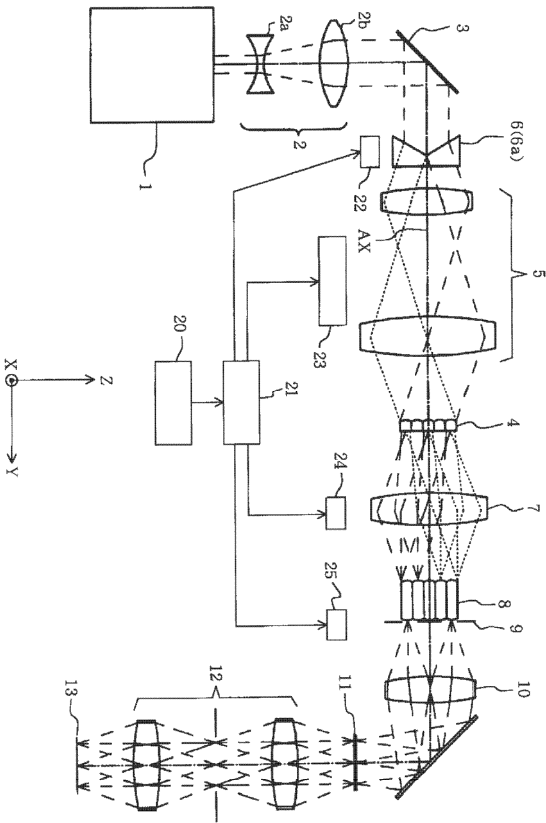
도면10



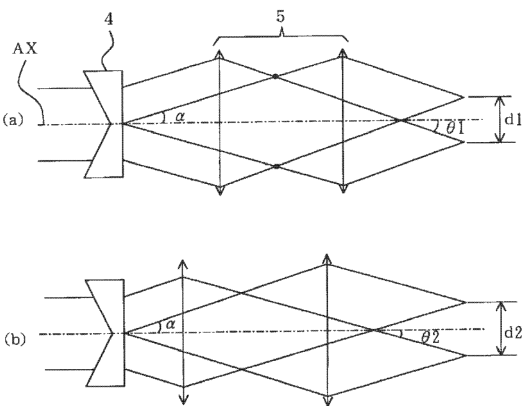
도면11



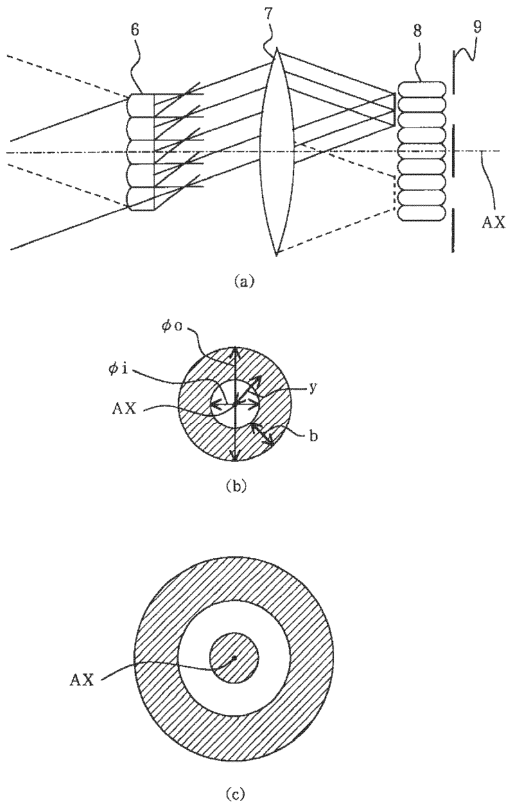
도면12



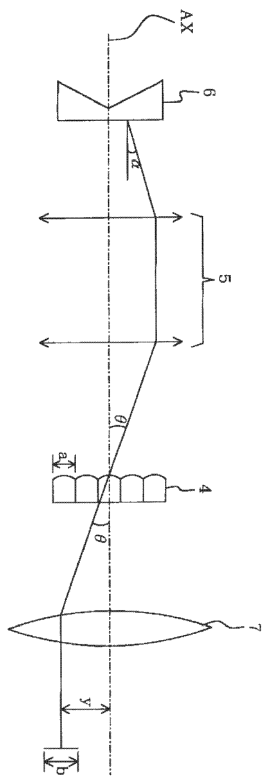
도면13



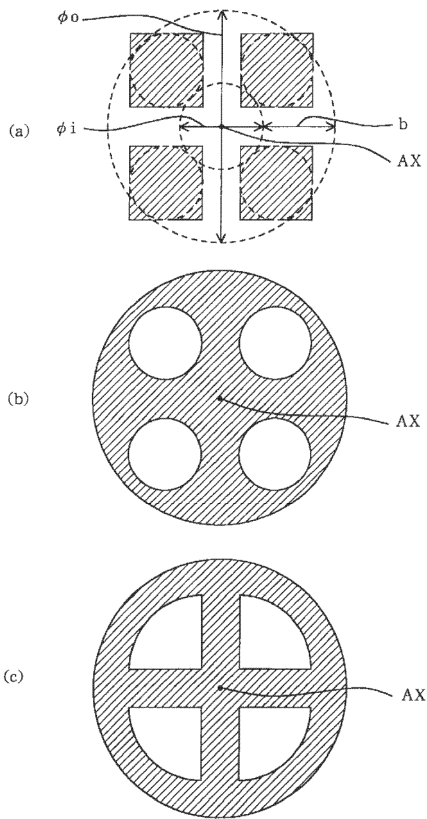
도면14



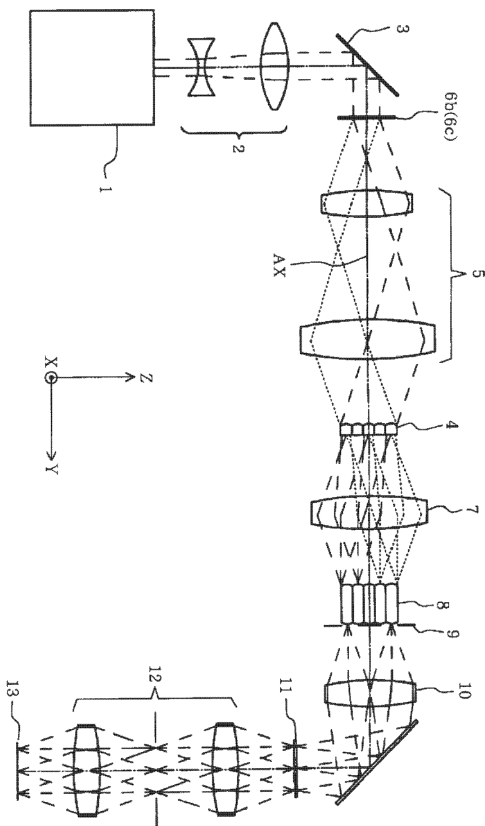
도면15



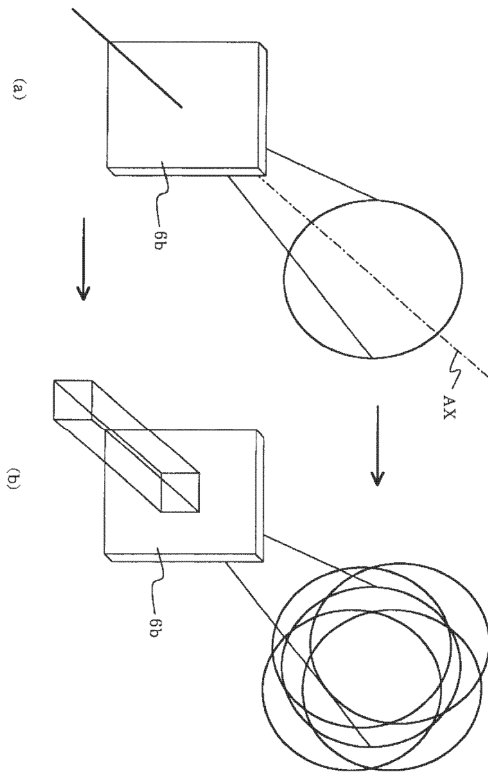
도면16



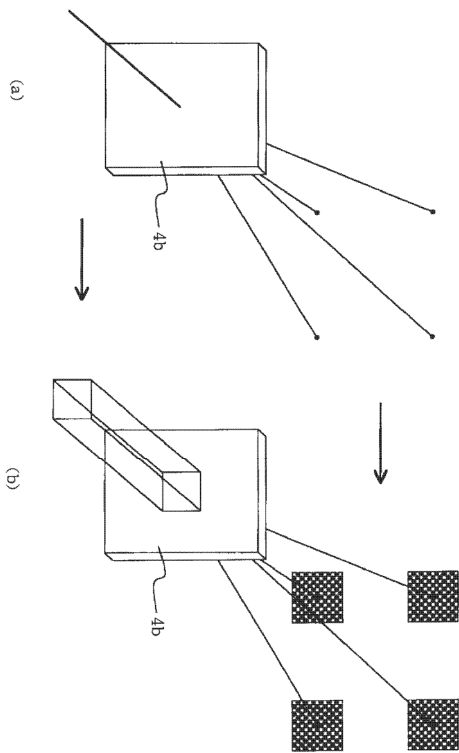
도면17



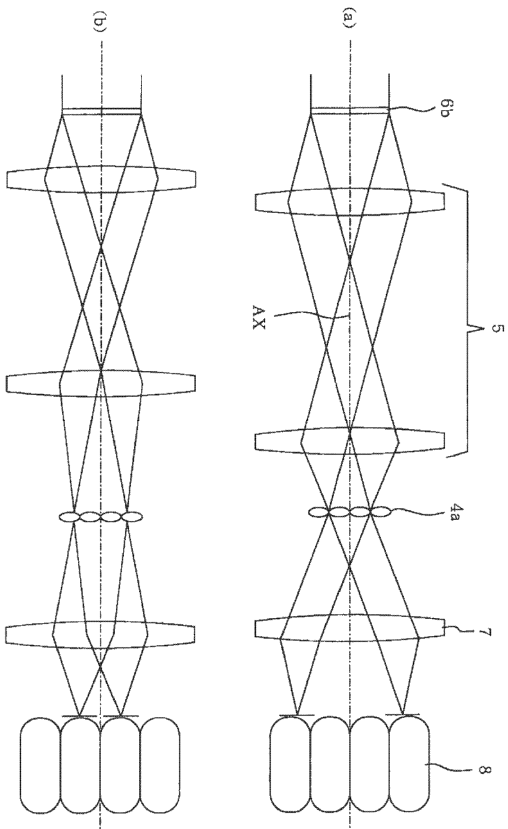
도면18



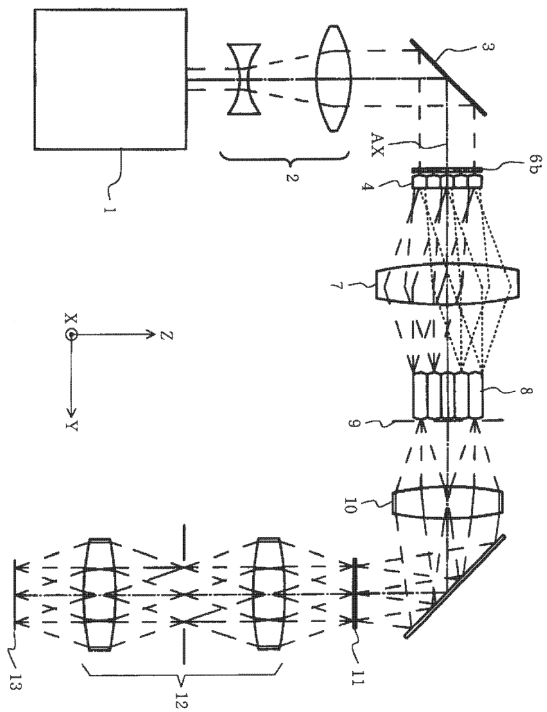
도면19



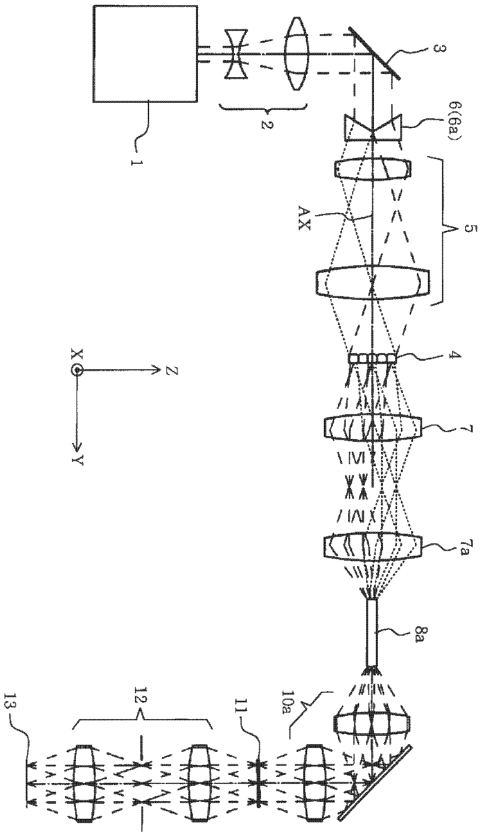
도면20



도면21

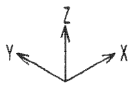
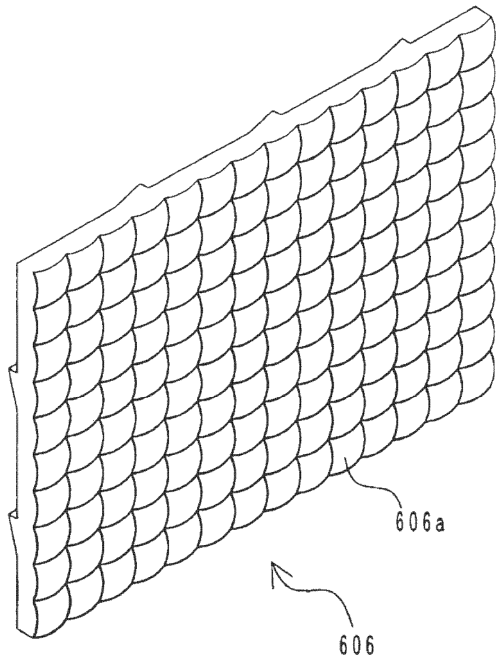


도면22

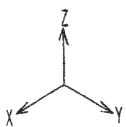
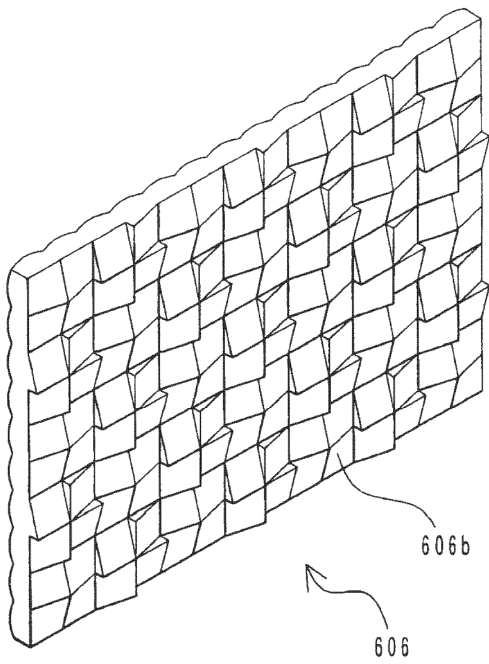




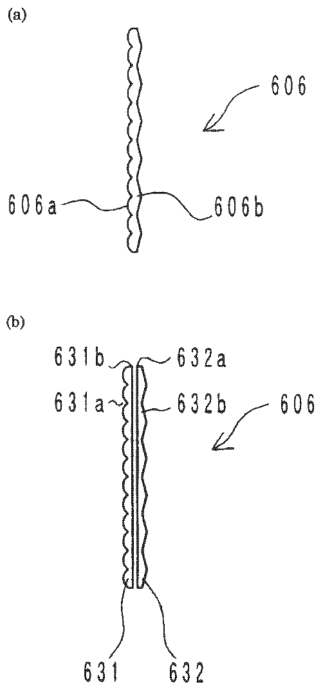
도면24a



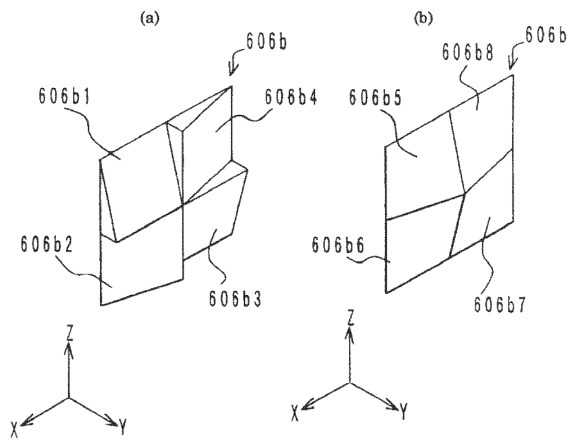
도면24b



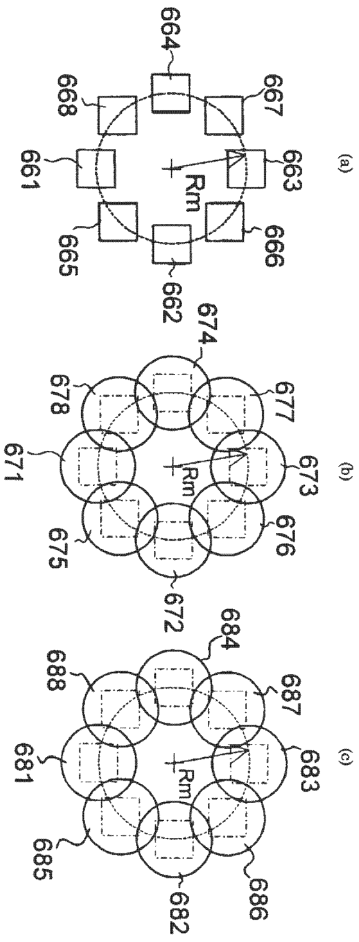
도면25



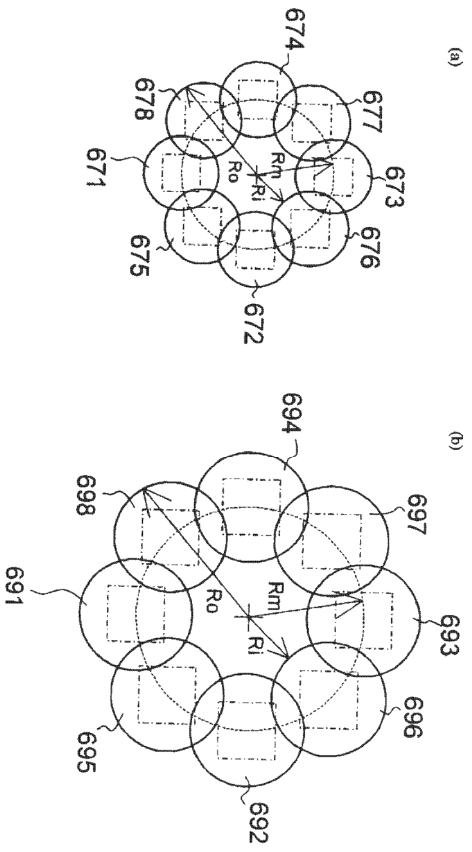
도면26



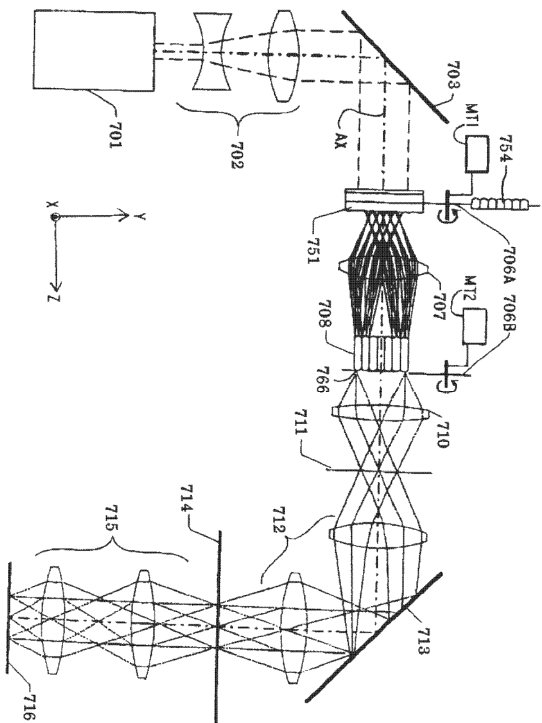
도면27



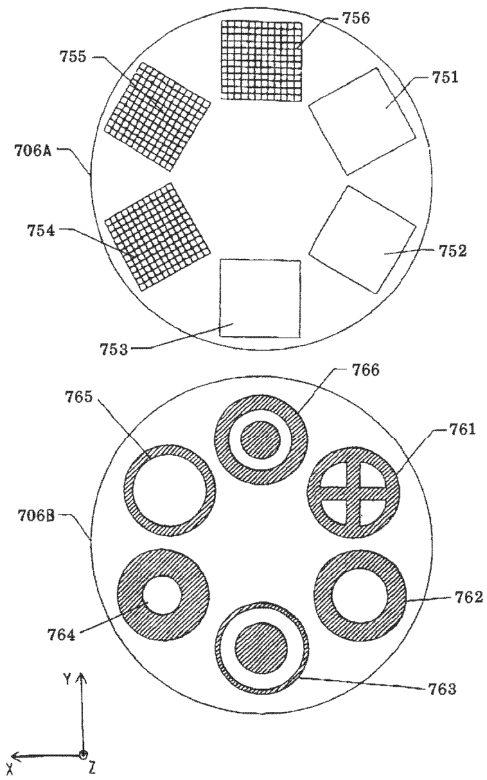
도면28



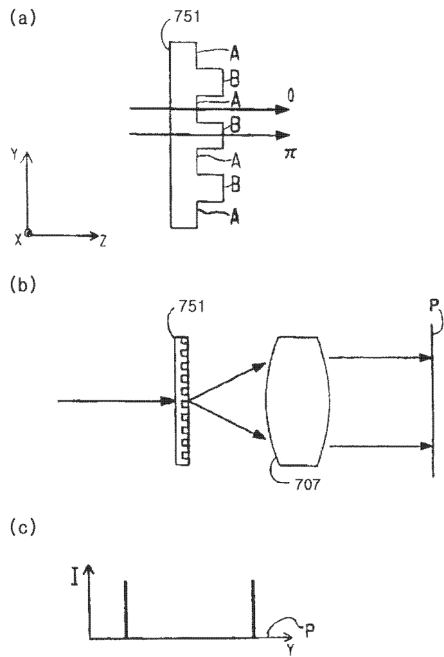
도면29



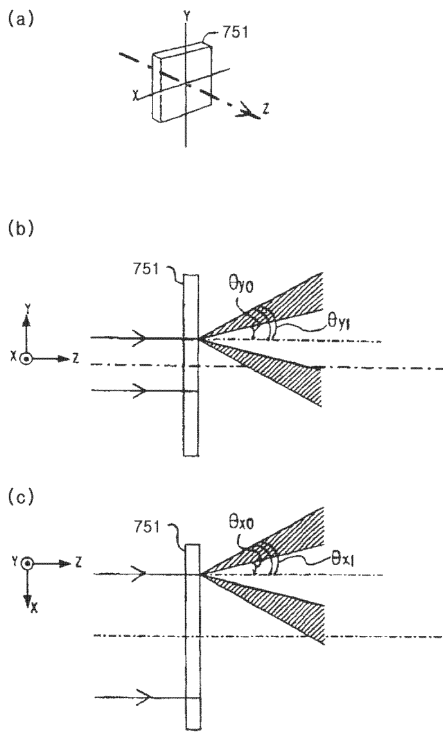
도면30



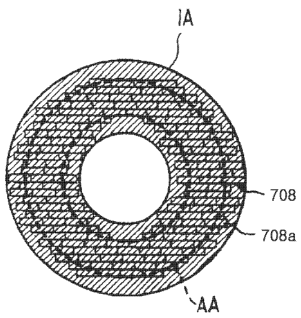
도면31



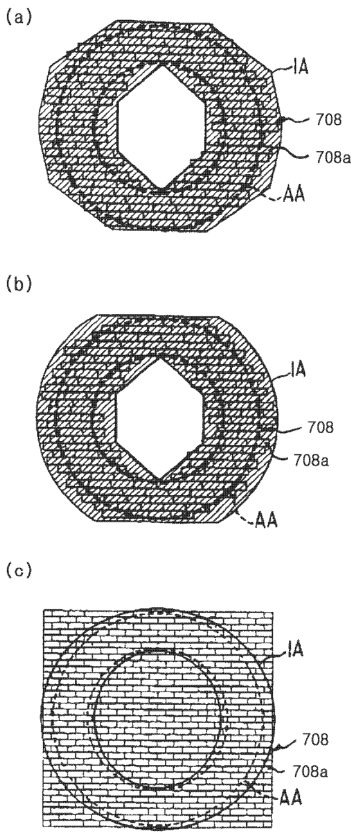
도면32



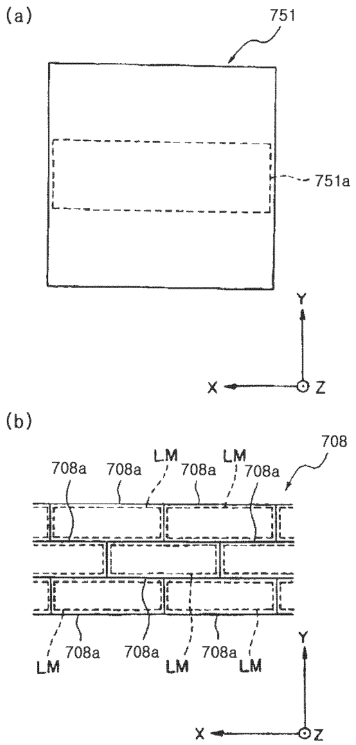
도면33



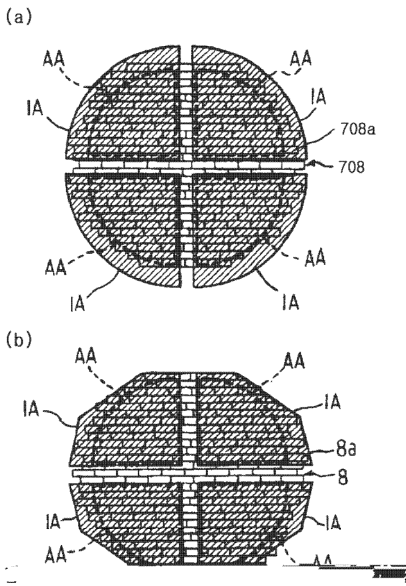
도면34



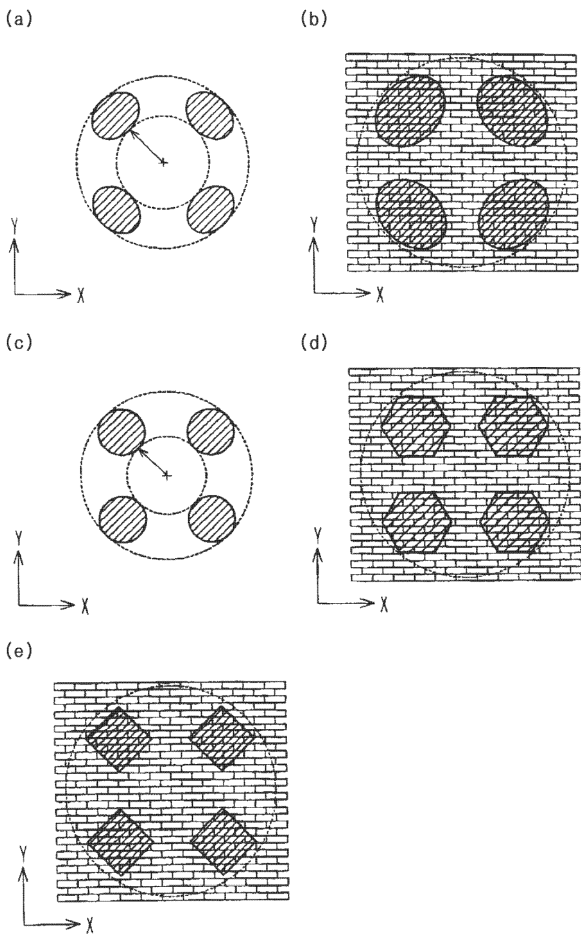
도면35



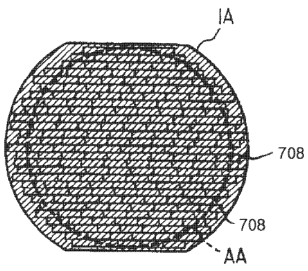
도면36



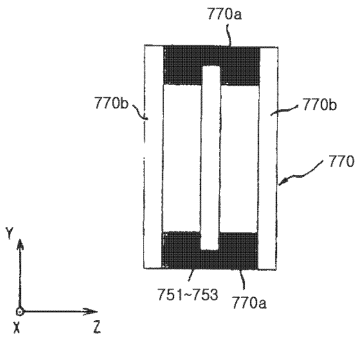
도면37



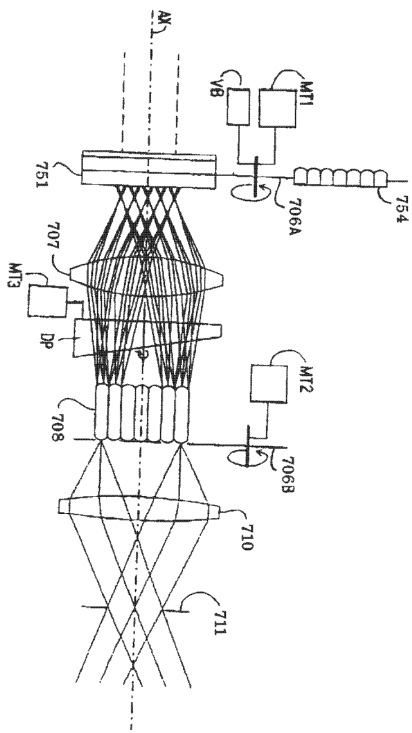
도면38



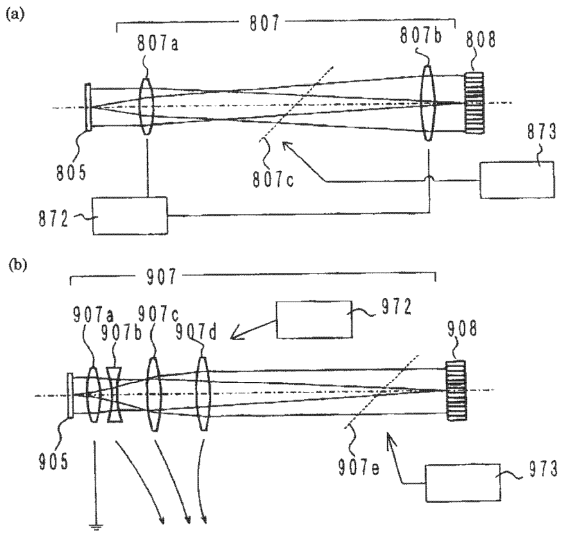
도면39



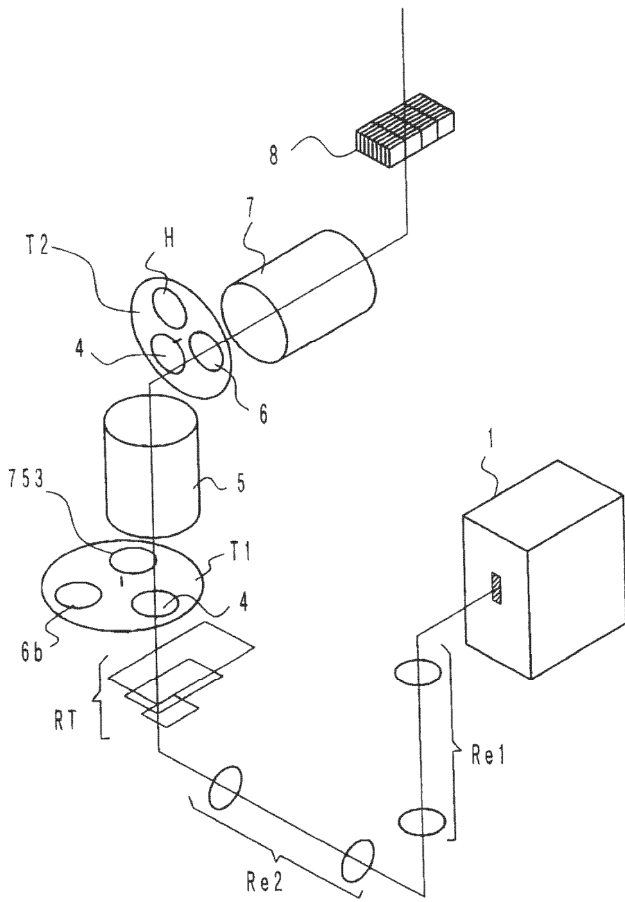
도면40



도면41



도면42



도면43

