

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. H01L 21/027 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2006년05월02일 10-0574966 2006년04월24일
--	-------------------------------------	--

(21) 출원번호 (22) 출원일자	10-2004-0004419 2004년01월20일	(65) 공개번호 (43) 공개일자	10-2005-0076438 2005년07월26일
------------------------	--------------------------------	------------------------	--------------------------------

(73) 특허권자            삼성전자주식회사  
                              경기도 수원시 영통구 매탄동 416

(72) 발명자                박진홍  
                              서울특별시광진구구의3동631-1번지현대프라임아파트8-2504

                              최성운  
                              경기도수원시팔달구영통동신나무실신원아파트634-304

(74) 대리인                리앤목특허법인  
                              이혜영

심사관 : 김준학

(54) 포토마스크 및 이를 이용한 투과율 및 위상 조절 방법

요약

포토마스크 및 이를 이용한 투과율 및 위상 조절 방법을 개시한다. 본 발명에 따른 포토마스크는, 투명 기관과, 상기 투명 기관의 전면에 형성되어 패턴 형성을 위한 투광부를 정의하는 차광 패턴과, 상기 투명 기관의 배면에 형성되어 빛을 회절시키는 복수의 격자를 포함하고, 상기 복수의 격자는 이진 격자로 되어 있고, 상기 각 격자는 빛의 위상 및 투과율을 조절하는 등배비 및 배치 방향을 갖는다.

대표도

도 13

색인어

포토마스크, 투과율, 위상

명세서

도면의 간단한 설명

도 1a는 다른 등배비(duty ratio)를 갖는 격자들로 이루어진 격자 구조를 나타내는 단면도이다.

도 1b는 도 1a의 일부를 확대한 부분 확대 단면도이다.

도 2는 도 1a의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 변화를 나타내는 그래프이다.

도 3은 도 1a의 격자 구조를 통과한 빛의 진폭 변화를 나타내는 그래프이다.

도 4a는 다른 등배비를 갖는 격자들로 이루어진 격자 구조로서, 도 1a에 도시된 격자보다 더 긴 격자를 갖는 격자 구조를 나타내는 단면도이다.

도 4b는 도 4a의 일부를 확대한 부분 확대 단면도이다.

도 5는 도 4a의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6은 도 4a의 격자 구조를 통과한 빛의 진폭 변화를 나타내는 그래프이다.

도 7a는 다른 등배비를 갖는 격자들로 이루어진 격자 구조로서, 45°회전되어 배치된 격자 구조를 나타내는 단면도이다.

도 7b는 도 7a의 일부를 확대한 부분 확대 단면도이다.

도 8은 도 7a의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 변화를 나타내는 그래프이다.

도 9는 도 7a의 격자 구조를 통과한 빛의 진폭 변화를 나타내는 그래프이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 포토마스크의 배면에 형성될 수 있는 격자 구조를 나타내는 사시도이다.

도 11은 도 10의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 분포를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 12는 도 10의 격자 구조를 통과한 빛의 세기 분포를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따라 포토마스크의 배면에 형성될 수 있는 격자 구조를 나타내는 사시도이다.

도 14는 도 13의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 분포를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 15는 도 13의 격자 구조를 통과한 빛의 세기 분포를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 16은 격자의 등배비와 배치 방향에 따른 빛의 위상 변화를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 17은 격자의 등배비와 배치 방향에 따른 투과율 변화를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 18은 본 발명에 따라 투과율과 위상의 조절이 가능한 범위를 나타내는 그래프이다.

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 파장 이하의 격자 구조를 이용하여 투과율 및 위상을 동시에 조절할 수 있는 포토마스크, 및 이를 이용한 투과율 및 위상 조절 방법에 관한 것이다.

반도체 집적 회로 장치의 집적도가 높아짐에 따라, 반도체 집적 회로 장치의 정밀한 제조를 위해 매우 높은 해상도를 구현할 수 있는 포토리소그래피(photolithography) 기술이 요구되고 있다. 이와 관련하여 최근 포토리소그래피 환경에서는 MEEF(Mask Error Enhancement Factor; 마스크 에러 증폭률)의 급격한 증가로 포토마스크의 제조 공정의 난이도가 점

차 증가하고 있는 추세이다. 웨이퍼에 대한 포토 공정에서는 포토마스크의 공정 능력 이상의 임계치수(Critical Dimension, 이하 CD) 산포 수준을 요구하고 있기 때문에, MEEF가 낮은 포토 공정을 개발하지 않는 한 포토마스크 제조는 매우 어려워진다.

이와 같이 MEEF가 낮은 포토 공정을 개발하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 특히, 해상도를 높이고 초점 심도(Depth of Focus)를 향상시킴으로써 웨이퍼 상에 형성되는 패턴의 정밀도를 더욱 향상시키는 기술이 개발되고 있다. 예를 들어, 포토마스크의 배면 상에 격자 구조를 형성함으로써 해상도 및 초점 심도를 향상시키는 기술이 연구되고 있다.

포토마스크 배면에 형성된 격자 구조를 이용한 종래 기술로는, 다이폴(dipole) 또는 쿼드러폴(quadrupole) 조명 등과 같은 변형 조명(modified illumination)의 효과를 얻기 위한 방법이 있다. 한국 공개특허공보 2003-0067039 호에는, 포토마스크의 배면에 규칙적이고 주기적인 위상 격자를 형성하여 사입사 조명(Off-Axis Illumination)에 의한 변형 조명 효과를 얻을 수 있는 포토마스크를 개시하고 있다. 그러나, 상기와 같이 규칙적이고 주기적인 위상 격자 구조를 포토마스크 배면에 형성하는 방법은, 변형 조명에 이용하기 위한 방법일 뿐 위상 또는 투과율을 조절할 수는 없다.

또한, 웨이퍼의 샷 균일도(wafer shot uniformity)를 개선하기 위한 방법으로서 포토마스크의 배면에 격자를 형성하고 밀도를 조절하여 0차 회절광을 최소로 함으로써 투과율을 조절하는 방법이 있다. 그러나 이 방법에서는 투과율만을 조절할 수 있을 뿐 위상을 필요에 따라 여러 단계로 조절할 수는 없다. 따라서, 노광 공정을 통해 다양하고 복잡한 패턴을 웨이퍼 상에 전사시키고자 할 경우, 투과율의 산포에 의한 패턴 불량 발생될 수 있다.

한편, 변형 조명 효과를 얻기 위한 회절 광학 소자 형성시 위상이 단지 2 개인 이진 위상보다는 다중 위상을 구현하는 것이 높은 효율의 이미지를 얻는 데에 유리하다. 다중 위상의 회절 광학 소자를 형성하는 방법에는, 예를 들어, 포토마스크의 배면 구조를 계단 형태로 만드는 방법이 있다. 그러나, 이와 같이 계단 형태의 배면 구조를 이용하여 다중 위상의 회절 광학 소자를 구현하는 경우에는, 회절 효율의 제한으로 인하여 노이즈(noise) 성분이 많이 나타나게 된다. 이러한 노이즈 성분은 필터링 없이 모두 포토마스크 내부로 입사하게 되므로 웨이퍼 상에 패턴 형성시 악영향을 미치게 된다. 따라서, 투과율을 조절함으로써 이러한 노이즈 성분을 제거할 수 있고 다중 위상의 회절 광학 소자를 구현할 수 있는 포토마스크가 필요하다.

### 발명이 이루고자 하는 기술적 과제

따라서, 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 투과율 조절에 의해 CD 산포를 개선할 수 있고 투과율과 위상을 모두 고려하여 포토마스크 배면에 변형 조명 효과를 줄 수 있는 포토마스크를 제공하는 것이다.

또한, 본 발명이 이루고자 하는 다른 기술적 과제는 포토마스크의 배면 격자 구조를 이용하여 CD 산포를 개선할 수 있고 다중 위상 구조의 회절 광학 소자를 구현할 수 있는 투과율 및 위상을 조절하는 방법을 제공하는 것이다.

### 발명의 구성 및 작용

상기 기술적 과제를 달성하기 위하여 본 발명에 따른 포토마스크는, 투명 기관과, 상기 투명 기관의 전면에 형성되어 패턴 형성을 위한 투광부를 정의하는 차광 패턴과, 상기 투명 기관의 배면에 형성되어 빛을 회절시키는 복수의 격자를 포함하고, 상기 복수의 격자는 이진 격자로 되어 있고, 상기 각 격자는 빛의 위상 및 투과율을 조절하는 등배비 및 배치 방향을 갖는다.

상기 본 발명에 따른 포토마스크에 있어서, 상기 복수의 격자는 상기 투명 기관의 배면을 선택적으로 식각함으로써 형성될 수 있다. 또한, 상기 복수의 격자의 주기는 상기 격자를 통과하는 노광용 입사광의 파장 크기 이하이다.

상기 본 발명에 따르면, 상기 각 격자의 등배비 및 배치 방향을 조절함으로써 웨이퍼 샷 균일도를 조절할 수 있다. 또한, 상기 복수의 격자는 다중 위상의 회절 광학 소자로 이용될 수 있다. 이 경우, 상기 각 격자의 등배비 및 배치 방향을 조절함으로써 상기 다중 위상의 회절 광학 소자의 투과율을 조절할 수 있다.

상기 다른 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명에 따른 투과율 및 위상 조절 방법은, 포토 마스크의 투명 기관 배면에 형성된 격자를 이용한 투과율 및 위상 조절 방법으로서, 상기 투명 기관의 소정 영역에서의 투과율 및 위상을 선택하는 단

계와, 상기 투과율 및 위상에 해당하는 등배비 및 배치 방향을 결정하는 단계와, 상기 결정된 등배비 및 배치 방향을 갖는 이진 격자가 상기 소정 영역의 상기 투명 기관 배면에 형성되도록 포토마스크를 준비하는 단계와, 상기 준비된 포토마스크를 이용하여 노광 공정을 수행하는 단계를 포함한다.

상기 본 발명에 따른 투과율 및 위상 조절 방법에 있어서, 상기 투명 기관의 배면에 형성되는 상기 이진 격자는 상기 투명 기관의 배면을 선택적으로 식각함으로써 형성될 수 있다. 또한, 상기 이진 격자의 주기는 상기 격자를 통과하는 노광용 입사광의 파장 크기 이하이다.

또한, 본 발명에 따르면, 상기 본 발명에 따른 포토마스크를 이용하여 상기 투명 기관의 배면에 형성된 격자를 통과하는 노광용 입사광의 투과율 및 위상을 조절하는 방법을 제공한다.

이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명한다. 그러나, 본 발명의 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명하는 실시예들로 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예들은 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 따라서, 도면에서의 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있으며, 도면 상의 동일한 부호로 표시되는 요소는 동일한 요소이다.

도 1a는, 본 발명의 원리를 설명하기 위한 도면으로서, 서로 다른 등배비(duty ratio)를 갖는 격자들로 이루어진 격자 구조를 나타내는 단면도이다. 도 1a에 도시된 격자 구조의 배치 방향(tilt angle)은 0°이다. 즉, 모든 격자가 기준 방향과 동일한 방향으로 형성되어 있다.

도 1a를 참조하면, 포토마스크를 이루는 투명 기관(100)의 배면에는 투명 기관을 선택적으로 식각하여 형성한 다수의 격자(50)들이 형성되어 있다. 도 1a에 도시된 격자 구조는 다소 과장되게 표현된 것이며, 특히 투명 기관(100)의 배면 상에 형성되어 있는 격자(50)를 구성하는 요철들은 실제 더욱 조밀하게 형성되어 있다.

도 1a를 참조하면, 각 격자(50)는 일정한 주기( $\Lambda$ )로 배열된 요철들로 이루어져 있으며 그 요철의 깊이는 모두 동일하다. 이와 같이 요철의 깊이가 모두 동일한 격자(50)를 이진 격자라 한다. 또한, 포토마스크의 배면에 형성되는 격자의 한 주기( $\Lambda$ )의 길이는, 포토 공정을 수행하기 위해 사용될 빛의 파장( $\lambda$ )이하인 것을 특징으로 한다. 예를 들어, 한 주기( $\Lambda$ )의 길이를  $\lambda/2$ 로 하거나 또는  $\lambda/4$ 로 할 수 있다. 도 1a에 도시된 바와 같이, 이 격자 구조는 서로 다른 등배비를 갖는 여러 개의 격자(50) 들로 이루어져 있다. 여기서, 등배비는 격자의 한 주기의 길이( $\Lambda$ )에 대한 요철의 블록부의 길이( $a$ )의 비를 말한다. 도 1a에는 4 개의 서로 다른 등배비를 갖는 격자(50)들이 도시되어 있다. 즉, 등배비( $a/\Lambda$ ) 가 각각 0.8, 0.6, 0.4, 0.2인 격자(50) 들이 포토마스크의 투명 기관(100) 배면에 형성되어 있다. 각 등배비에 해당하는 각 격자(50)의 가로 방향 길이는  $10\lambda$ 이다.

구체적으로 말해서, 도 1a의 격자 구조와 정렬되어 도시되어 있는  $x/\lambda$  축(여기서,  $x$ 는 포토마스크의 좌측 단부로부터의 가로 방향의 길이이고,  $\lambda$ 는 포토 공정에 사용되는 빛의 파장임) 상에서 0 부터 10까지의 영역에서는 등배비가 0.8인 격자가 형성되어 있고, 10 부터 20까지의 영역에서는 등배비가 0.6인 격자가 형성되어 있고, 20 부터 30까지의 영역에서는 등배비가 0.4인 격자가 형성되어 있고, 30 부터 40까지의 영역에서는 등배비가 0.2인 격자가 형성되어 있다. 이와 같이, 도 1a에 도시된 격자 구조에서는 좌측으로부터 우측으로 갈수록 등배비가 작게 되도록 4개의 격자가 형성되어 있다. 포토마스크를 이루는 투명 기관(100)의 전면(前面) 상에는 패턴 형성을 위한 투광부를 정의하는 다수의 차광 패턴(도시 생략)이 형성되어 있다.

도 1b는 도 1a의 일부를 확대한 부분 확대 단면도이다. 특히, 도 1b는 도 1a의  $x/\lambda$  축 상에서 0 부터 10까지의 영역에 형성된 격자, 즉 0.8의 등배비를 갖는 격자를 나타낸다. 도 1b에 도시된 바와 같이, 격자(50)를 구성하는 요철들은 실제 매우 조밀하게 많이 형성되어 있으며, 격자의 한 주기의 길이( $\Lambda$ )는 파장( $\lambda$ )이하의 길이로 되어 있다. 또한, 이진 격자를 이루는 요철의 깊이는 대략  $4\lambda$ 로 되어 있다.

본 발명에서는 파장( $\lambda$ )이하의 주기( $\Lambda$ )를 갖는 격자에서의 회절 현상을 이용한다. 파장 크기 이하의 격자에서의 회절은 통상의 스칼라 회절에서는 나타나지 않은 현상을 나타내는 바, 이러한 격자를 통과한 빛은 등배비에 따라 다른 위상을 갖게 된다. 이와 같이 파장 크기 이하의 격자를 포토마스크 배면에 형성하고 각 격자의 등배비를 조절함으로써 위상을 변화시킬 수 있게 된다. 따라서, 포토마스크의 배면 상에 형성된 격자의 등배비를 이용하면, 포토마스크를 통과한 빛의 위상을 조절할 수 있게 된다.

도 2는 도 1a의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 변화를 나타내는 그래프이다.

도 2를 참조하면, 실선으로 표시된 위상 변화 프로파일은 주기( $\Lambda$ )가  $\lambda/2$ 인 경우의 위상 변화 프로파일에 해당하고 점선으로 표시된 위상 변화 프로파일은 주기( $\Lambda$ )가  $\lambda/4$ 인 경우의 위상 변화 프로파일에 해당한다. 도 2에 도시된 바와 같이,  $x/\lambda$  축 상에서의 위치에 따라 격자 구조를 통과한 빛의 위상이 변화한다. 특히, 격자 구조를 이루는 각 격자(50)의 등배비에 따라 위상이 단계적으로 변화한다. 동일한 등배비를 갖는 격자(50) 내에서는 위상의 변화가 매우 미세하게 나타나지만, 등배비가 달라짐에 따라 위상이 크게 변화함을 알 수 있다. 이와 같이, 동일한 주기를 갖는 격자로서 파장 크기 이하의 격자로 이루어진 격자 구조에서에서는 격자 구조를 통과한 빛의 위상이 등배비에 따라 급격히 달라지게 된다. 따라서, 파장 크기 이하의 격자를 갖는 격자 구조에서 등배비를 다르게 함으로써 포토마스크를 통과한 빛의 위상을 조절할 수 있게 된다.

도 3은 도 1a의 격자 구조를 통과한 빛의 진폭 변화를 나타내는 그래프이다.

도 3을 참조하면,  $x/\lambda$  축 상에서의 위치에 따른 진폭의 변화는 거의 나타나지 않는다. 즉, 등배비가 달라지는 경계점에서는 진폭의 요동이 나타나지만 전체 격자 구조를 통해서는 등배비에 따른 진폭의 크기가 거의 변하지 않게 된다. 이와 같은 현상은 후술하는 바와 같이, 격자의 배치 방향과 관계가 있다.

도 4a는 다른 등배비를 갖는 격자(60)들로 이루어진 격자 구조로서, 도 1a에 도시된 격자보다 더 긴 격자를 갖는 격자 구조를 나타내는 단면도이다. 이 격자(60) 들은 포토마스크를 이루는 투명 기관(200)의 배면을 식각하여 형성된 것이다. 도 4a에 도시된 각 격자(각 등배비에 해당하는 격자) 내의 요철의 개수는 도 1a에 도시된 각 격자 내의 요철의 개수에 비하여 더 증가된 것이다. 이와 같이 각 등배비에 해당하는 각 격자의 가로 방향의 길이( $20\lambda$ )가 도 1a에서의 각 격자의 가로 방향의 길이( $10\lambda$ )보다 더 긴 것을 제외하고는 도 4a에 도시된 격자 구조는 도 1a에 도시된 격자 구조와 동일하다. 따라서, 모든 격자의 주기는 동일하고, 그 주기는 빛의 파장 이하의 크기(예를 들어,  $\lambda/2$  또는  $\lambda/4$ ) 를 갖는다. 다만, 등배비 0.8에 해당하는 영역은  $x/\lambda$  축 상에서 0 부터 20 까지의 영역이고, 등배비 0.6에 해당하는 영역은  $x/\lambda$  축 상에서 20 부터 40 까지의 영역이고, 등배비 0.4에 해당하는 영역은  $x/\lambda$  축 상에서 40 부터 60 까지의 영역이고, 등배비 0.2에 해당하는 영역은  $x/\lambda$  축 상에서 60 부터 80 까지의 영역이다. 이 경우에도 격자의 배치 방향은  $0^\circ$ 로 설정되어 있다.

도 4b는 도 4a의 일부를 확대한 부분 확대 단면도이다. 특히, 도 4b는 도 4a의  $x/\lambda$  축 상에서 0 부터 20 까지의 영역에 형성된 격자를 나타낸다. 도 4b에 도시된 바와 같이, 격자(60)를 구성하는 요철들은 실제 매우 조밀하게 많이 형성되어 있으며, 격자의 한 주기의 길이( $\Lambda$ )는 파장( $\lambda$ )이하의 길이(예를 들어,  $\lambda/2$  또는  $\lambda/4$ )로 되어 있다. 또한, 이진 격자를 이루는 요철의 깊이는 대략  $4\lambda$ 로 되어 있다.

도 5는 도 4a의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 변화를 나타내는 그래프이다.

도 5에서 알 수 있는 바와 같이, 격자 구조를 통과한 빛의 위상은 격자의 등배비에 따라 급격히 변화하여, 도 2에 도시된 위상 변화 프로파일과 거의 동일한 프로파일을 나타내고 있다. 따라서, 각 격자의 길이를 증가시킨다하더라도 위상 변화에는 거의 영향이 없으며, 격자의 등배비가 위상을 결정하는 주요인임을 알 수 있다.

도 6은 도 4a의 격자 구조를 통과한 빛의 진폭 변화를 나타내는 그래프이다.

도 6에서 알 수 있는 바와 같이,  $x/\lambda$  축 상에서의 위치에 따른 진폭의 변화는 거의 나타나지 않는다. 즉, 등배비가 달라지는 경계점에서는 진폭의 요동이 나타나지만 전체 격자 구조를 통해서는 등배비에 따른 진폭의 크기가 거의 변하지 않게 된다.

다음으로, 격자의 배치 방향을  $0^\circ$ 이외의 다른 각도로 설정한 경우를 설명한다. 도 7a는 다른 등배비를 갖는 격자들로 이루어진 격자 구조로서,  $45^\circ$ 회전되어 배치된 격자 구조를 나타내는 단면도이다.

도 7a를 참조하면, 투명 기관(300)의 배면 상에 형성되어 있는 격자(70)의 단면 구조는 도 1a와 동일하나, 격자가 기준 방향에 대하여  $45^\circ$ 로 회전되어 배치되어 있다. 이와 같이, 격자의 배치 방향을 다르게 되면, 격자를 통과하여 회절되는 빛의 진폭에 영향을 미치게 된다. 빛의 진폭에 영향을 미치게 되면, 결국 격자를 통과하는 빛의 세기에 영향을 미치게 되어 투과율의 변화를 일으킨다.

도 7b는 도 7a의 일부를 확대한 부분 확대 단면도이다. 특히, 도 7b는 도 7a의  $x/\lambda$  축 상에서 0 부터 10 까지의 영역에 형성된 격자를 나타낸다. 도 7b에 도시된 바와 같이, 격자(70)를 구성하는 요철들은 실제 매우 조밀하게 많이 형성되어 있으며, 격자의 한 주기의 길이( $\Lambda$ )는 파장( $\lambda$ )이하의 길이(예를 들어,  $\lambda/2$  또는  $\lambda/4$ )로 되어 있다. 또한, 이진 격자를 이루는 요철의 깊이는 대략  $4\lambda$ 로 되어 있으며, 전술한 바와 같이 격자의 배치 방향은  $45^\circ$ 로 설정되어 있다.

도 8은 도 7a의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 변화를 나타내는 그래프이다.

도 8에 도시된 바와 같이, 격자를 통과한 빛의 위상은 등배비에 따라 급격한 변화를 나타내며 위치에 따른 위상 분포를 보이고 있다. 따라서, 격자의 배치 방향을 달리한 경우에도 등배비에 의한 위상 조절이 가능하다는 것을 알 수 있다.

도 9는 도 7a의 격자 구조를 통과한 빛의 진폭 변화를 나타내는 그래프이다

도 9를 참조하면, 격자의 배치 방향이 0°인 경우와 달리, 각 등배비에 해당하는 영역에 따라 큰 진폭 변화를 나타내고 있다. 즉, 배치 방향을 45°로 설정함으로써, 등배비에 따른 진폭의 변화를 일으키게 된다. 따라서 특정 등배비에 해당하는 격자에 대해 배치 방향을 달리함으로써, 그 격자를 통과한 빛의 진폭을 조절할 수 있게 된다.

이상의 설명으로부터 알 수 있는 바와 같이, 포토마스크를 이루는 투명 기관의 배면에 서로 다른 등배비를 갖는 다수의 격자들을 형성함으로써 이 격자 구조를 통과한 빛의 위상을 등배비에 따라 다르게 분포시킬 수 있게 된다. 즉, 격자의 등배비의 조절에 의한 위상 조절이 가능하게 된다. 또한, 격자의 배치 방향을 다르게 설정함으로써 각 등배비에 해당하는 격자를 통과한 빛의 진폭을 변화시킬 수 있게 된다. 이에 따라 격자의 배치 방향의 조절에 의한 진폭 조절이 가능하게 된다. 이와 같은 현상을 이용하면, 포토마스크의 투과율의 조절을 통해 CD 산포를 개선할 수 있으며, 투과율과 위상을 모두 고려하여 포토마스크 배면에 변형 조명 효과를 줄 수 있는 다중 위상 구조의 회절 광학 소자를 구현할 수 있게 된다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따라 포토마스크의 배면에 형성될 수 있는 격자 구조를 나타내는 사시도이다.

도 10에 도시된 바와 같이, 4개의 서로 다른 등배비를 갖는 격자들이 배치되어 있다. 상기 격자 구조의 밑면(투명 기관의 배면에 해당함)에 도시된 2개의 길이 방향의 축에는 파장( $\lambda$ )을 단위로 하여 눈금이 매겨져 있으며, 상기 격자 구조의 높이 방향의 나머지 축에는 유전율을 단위로 눈금이 매겨져 있다. 유전율은 굴절율과 관련된 것으로서 투명 기관의 굴절율과 진공의 굴절율은 서로 다르므로, 도 10의 도면에서 유전율은 결국 격자를 이루는 요철면의 높이에 대응된다. 격자를 이루는 요철의 깊이는 모두 동일하므로 상기 격자는 이진 격자로 되어 있다. 서로 다른 4개의 등배비를 갖는 각 격자의 가로 및 세로 길이는  $5\lambda$ 로 되어 있으며, 각 격자들의 주기( $\Lambda$ )는 모두 동일한 것으로 파장( $\lambda$ ) 크기 이하로 되어 있다. 또한, 모든 격자들은 동일한 배치 방향으로 배치되어 있다.

도 11은 도 10의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 분포를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 11을 참조하면, 각 격자의 등배비에 따라 급격히 다른 위상을 갖고 있다. 하나의 등배비에 해당하는 각 격자 내에서는 위상이 매우 완만하고 미소한 변화만을 나타내고 있지만, 등배비가 서로 다른 격자들 간에는 위상의 차이가 매우 크다. 따라서, 포토마스크의 위치에 따라 원하는 위상을 얻을 수 있도록 각 위치에 형성되어 있는 격자의 등배비를 조절할 수 있다.

도 12는 도 10의 격자 구조를 통과한 빛의 세기 분포를 나타내는 3차원 그래프이다. 도 12를 참조하면, 상기 격자 구조를 통과한 빛의 세기가 다소간의 변동이 있는 것을 제외하고는 거의 동일한 수준으로 나타난다. 빛의 세기는 진폭의 제곱에 비례하고 진폭은 격자 구조의 투과율에 의해 결정되므로, 도 12에 도시된 빛의 세기는 결국 격자 구조의 투과율을 나타낸다고 할 수 있다. 도 12로부터 알 수 있는 바와 같이, 모든 격자의 배치 방향을 0°로 설정한 상태에서는 격자 구조를 통과한 빛의 세기는 등배비에 무관하게 거의 일정한 값을 가지게 된다.

다음으로, 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따라 포토마스크의 배면에 형성될 수 있는 격자 구조를 나타내는 사시도이다.

도 13을 참조하면, 4개의 서로 다른 등배비를 갖는 격자들이 배치되어 있다. 도 13에 도시된 격자 구조에서도 격자를 이루는 요철의 깊이는 모두 동일하므로 상기 격자는 이진 격자로 되어 있다. 또한, 각 격자들의 주기( $\Lambda$ )는 모두 동일한 것으로 파장( $\lambda$ ) 크기 이하로 되어 있다. 다만, 도 13의 격자 구조에서는, 각 등배비에 해당하는 격자의 배치 방향이 서로 다른 각도로 설정되어 있다.

도 14는 도 13의 격자 구조를 통과한 빛의 위상 분포를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 14를 참조하면, 배치 방향을 서로 다르게 하여 각 격자를 배치한 경우에도 각 격자의 등배비에 따라 급격히 다른 위상을 갖고 있다. 다만, 동일한 등배비를 갖는다 하더라도 배치 방향이 달라지면, 평균적인 위상 값도 다소 달라진다. 따라서, 이 경우에도 포토마스크의 위치에 따라 원하는 위상을 얻을 수 있도록 각 위치에 형성되어 있는 격자의 등배비를 조절할 수 있다.

도 15는 도 13의 격자 구조를 통과한 빛의 세기 분포를 나타내는 3차원 그래프이다. 도 15로부터 알 수 있는 바와 같이, 모든 격자의 배치 방향이  $0^\circ$ 인 경우와는 빛의 세기 분포에 있어서 매우 큰 차이를 나타내고 있다. 이는 각 등배비에 해당하는 각 격자의 배치 방향을 서로 다르게 설정하였기 때문이다. 이와 같이, 각 등배비에 해당하는 각 격자의 배치 방향은 빛의 세기 또는 빛의 투과율을 결정하는 주 요인이 된다. 따라서, 등배비의 조절과 함께 배치 방향을 조절함으로써 격자 구조를 통과하는 빛의 투과율을 위치에 따라 조절할 수 있게 된다. 이와 같은 투과율 조절 방법을 이용하면, 포토마스크의 단차에서 나타나는 델타 CD(delta CD)의 산포 현상을 효과적으로 보정할 수 있게 된다.

도 10 내지 도 15를 참조하여 설명한 바와 같이, 포토마스크의 투명 기관 배면에 형성된 격자의 등배비와 배치 방향을 조절함으로써 격자를 통과하는 빛의 위상과 세기(또는 투과율)을 조절할 수 있게 된다. 그러나, 특정 위상에 있어서 조절할 수 있는 투과율의 범위는 제한되어 있다. 즉, 파장( $\lambda$ )이하의 주기( $\Lambda$ )를 갖는 격자에 있어서, 등배비와 배치 방향을 통해서 조절할 수 있는 투과율의 최대값과 최소값이 존재하기 때문에, 특정 위상 값에 대하여 투과율이 0 과 1 사이의 모든 값을 가질 수 있는 것은 아니다. 다만, 위상 값은 0 과  $2\pi(\text{rad})$  사이의 거의 모든 값을 가질 수 있도록 등배비와 배치 방향을 조절할 수 있다.

도 16은 격자의 등배비와 배치 방향에 따른 빛의 위상 변화를 나타내는 3차원 그래프이다

도 16을 참조하면, 등배비와 배치 방향이라고 하는 2 개의 팩터(factor)의 조합에 의해 특정 위상 값이 결정됨을 알 수 있다. 도 16에 도시된 바와 같이, 포토마스크를 이루는 투명 기관의 배면에 형성된 격자의 등배비와 배치 방향에 따라서 위상 값이 주기적으로 변하게 된다. 따라서, 도 16으로부터 등배비와 배치 방향의 조절을 통해 원하는 위상을 설정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

도 17은 격자의 등배비와 배치 방향에 따른 투과율 변화를 나타내는 3차원 그래프이다.

도 17을 참조하면, 등배비와 배치 방향이라고 하는 2 개의 팩터의 조합에 의해 격자 구조를 통과한 빛의 투과율이 결정됨을 알 수 있다. 도 17에 도시된 바와 같이, 포토마스크를 이루는 투명 기관의 배면에 형성된 격자의 등배비와 배치 방향에 따라서 빛의 투과율이 주기적으로 변하게 된다. 따라서, 도 17로부터 등배비와 배치 방향의 조절을 통해 원하는 투과율을 설정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

도 16 및 도 17로부터 알 수 있는 바와 같이, 투과율만을 조절하기 위해서는 위상의 변화를 일으키지 않는 등배비를 찾고 격자의 배치 방향만을 조절하면 된다. 반대로, 투과율을 일정하게 유지하고 위상만을 변화시키기 위해서는 정해진 배치 방향에서 등배비를 조절하면 된다. 그러나 등배비와 배치 방향의 조절을 통해 투과율과 위상을 조절할 수 있는 범위가 존재하기 때문에, 그 범위 내에서만 원하는 위상과 투과율을 얻을 수 있다.

도 16 및 도 17을 이용하면, 투명 기관의 특정 지점에서의 투과율과 위상을 용이하게 조절할 수 있다. 즉, 투명 기관의 소정 영역에서의 투과율 및 위상을 원하는 값으로 선택한 후, 도 16 및 도 17을 이용하여 상기 선택된 투과율 및 위상에 해당하는 등배비 및 배치 방향의 조합을 결정한다. 그 후, 상기 결정된 등배비 및 배치 방향을 갖는 이진 격자를 상기 투명 기관 배면 상의 소정 영역에 형성시킴으로써 투과율 및 위상이 포토마스크를 준비한다. 이 포토마스크를 이용하여 노광 공정을 수행함으로써 포토마스크를 통과한 빛의 투과율과 위상을 원하는 값으로 조절할 수 있게 된다.

도 18은 본 발명에 따라 투과율과 위상의 조절이 가능한 범위를 나타내는 그래프이다.

도 18을 참조하면, 각 위상에서 얻을 수 있는 최대 투과율과 최소 투과율이 정해져 있다. 따라서, 특정 위상에서 얻을 수 있는 투과율에는 제한된 범위가 존재하게 된다. 즉, 본 발명에 따라 등배비 및 배치 방향을 조절을 통해 선택할 수 있는 위상 및 투과율의 조합은, 도 18에 도시된 최대 투과율 곡선과 최소 투과율 곡선 사이의 영역(S) 내에서만 존재한다. 본 발명의 포토마스크를 이용하면, 이 영역(S) 내의 위상 및 투과율 조합을 선택할 수 있는 것이다.

따라서, 상기 영역(S) 내에서 특정 위상 및 투과율을 얻기 위해서는, 이에 대응하는 등배비 및 배치 방향을 도 16 및 도 17로부터 선택하여 그 선택된 등배비와 배치 방향으로 포토마스크의 투명 기관에 격자를 형성한다. 이러한 격자가 형성된 포토마스크에 빛을 통과시킴으로써 원하는 위상과 투과율을 얻을 수 있게 된다. 특히, 격자의 등배비 및 배치 방향을 투명 기관의 배면 상의 위치에 따라 다르게 함으로써 하나의 포토마스크로 여러 단계의 위상 값을 갖는 빛을 얻을 수 있게 되어 다중 위상의 구현이 가능하다.

본 발명을 이용하면, 2 진 격자만으로 다중 위상의 회절 광학 소자를 구현할 수 있다. 본 발명에 따르면 변형 조명 효과를 얻기 위한 회절 광학 소자 형성 시 이진 격자만으로 다중 위상의 구현이 가능하기 때문에, 2 진 위상에 비하여 높은 효율의 이미지를 얻을 수 있게 된다. 즉, 웨이퍼 상에서 복잡하고 다양한 패턴을 형성시키고자 할 경우, 본 발명의 포토마스크를 이용하면 높은 해상도의 패턴을 얻을 수 있게 된다. 또한, 이진 격자만으로 예를 들어 DRAM의 셀 영역과 주변 회로 영역(또는 코어 영역) 간에 변형 조명 효과를 다르게 할 수 있게 때문에 회절 효율을 높일 수 있고, 투과율 조절에 의해서 노이즈(noise) 성분을 제거할 수 있다.

또한, 본 발명은 포토마스크 제조에 있어서도 장점을 갖고 있다. 예를 들어 콘택 홀(contact hole) 형성을 위한 보텍스 마스크(vortex mask)를 제조할 경우, 연속적인 위상 구현이 필요하다. 하지만, 공정 상의 어려움으로 인해 종래에는 통상 4 단계로 위상을 단계화하여 격자를 형성한다. 이에 따라 투명 기관 배면을 패터닝하는 공정 수가 많아지게 되어 포토마스크 제조 비용 및 제조 시간의 증가를 초래하게 된다. 그러나, 본 발명에서는, 단 한번의 투명 기관 식각 공정을 통해 여러 단계의 위상을 구현할 수 있는 격자 구조를 형성할 수 있다. 또한, 위상과 함께 투과율 조절을 통해 마스크의 단차에서 나타나는 델타 CD(delta CD)를 보정함으로써 CD 제어가 가능하게 된다. 이와 함께 웨이퍼 샷 균일도의 개선을 위한 마스크 투과율의 조절도 가능하다.

이상 본 발명을 구체적인 실시예들을 통해서 상세히 설명하였으나, 본 발명은 이에 한정되지 않고, 본 발명의 기술적 사상 내에서 당 분야의 통상의 지식을 가진 자에 의해 그 변형이나 개량이 가능함이 명백하다.

### 발명의 효과

상술한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 포토마스크를 이루는 투명 기관의 배면에 형성된 격자의 등배비와 배치 방향을 조절함으로써 원하는 위상과 투과율을 얻을 수 있게 된다. 따라서, CD 산포를 개선할 수 있고, 투과율과 위상을 모두 고려하여 포토마스크 배면에 변형 조명 효과를 줄 수 있으며, 웨이퍼 상에 미세하고 복잡한 패턴을 보다 정확하고 효율적으로 형성시킬 수 있게 된다.

또한, 본 발명에 따르면, 이진 격자 구조 만으로 다중 위상의 회절 광학 소자를 구현할 수 있기 때문에, 셀 영역/주변 회로 영역 간 변형 조명 효과를 다르게 적용할 경우 노이즈 성분을 제거하여 회절 효율을 개선할 수 있다. 또한, 이진 격자 구조 만으로 다중 위상을 구현할 수 있기 때문에, 단 한번의 투명 기관 식각 공정으로 여러 단계의 위상을 구현할 수 있다. 이에 따라, 포토마스크를 이루는 투명 기관의 배면포토마스크의 제조 공정을 보다 단순화시켜 양산성을 증대시키고 포토마스크의 제조 비용을 절감시킬 수 있게 된다.

### (57) 청구의 범위

#### 청구항 1.

삭제

#### 청구항 2.

투명 기관;

상기 투명 기관의 전면에 형성되어 패턴 형성을 위한 투광부를 정의하는 차광 패턴; 및

상기 투명 기관의 배면을 선택적으로 식각하여 형성되어 빛을 회절시키는 복수의 격자를 포함하고,

상기 복수의 격자는 이진 격자로 되어 있고, 상기 각 격자는 빛의 위상 및 투과율을 조절하는 등배비 및 배치 방향을 갖는 것을 특징으로 하는 포토마스크.

#### 청구항 3.



제2항에 있어서, 상기 복수의 격자의 주기는 상기 격자를 통과하는 노광용 입사광의 파장 크기 이하인 것을 특징으로 하는 포토마스크.

#### 청구항 4.

제2항에 있어서, 상기 각 격자의 등배비 및 배치 방향을 조절함으로써 웨이퍼 샷 균일도를 조절하는 것을 특징으로 하는 포토마스크.

#### 청구항 5.

제2항에 있어서, 상기 복수의 격자를 다중 위상의 회절 광학 소자로 이용하는 것을 특징으로 하는 포토마스크.

#### 청구항 6.

제5항에 있어서, 상기 각 격자의 등배비 및 배치 방향을 조절함으로써 상기 다중 위상의 회절 광학 소자의 투과율을 조절하는 것을 특징으로 하는 포토마스크.

#### 청구항 7.

포토 마스크의 투명 기판 배면에 형성된 격자를 이용한 투과율 및 위상 조절 방법에 있어서,

상기 투명 기판의 소정 영역에서의 투과율 및 위상을 선택하는 단계;

상기 투과율 및 위상에 해당하는 등배비 및 배치 방향을 결정하는 단계;

상기 결정된 등배비 및 배치 방향을 갖는 이진 격자가 상기 소정 영역의 상기 투명 기판 배면에 형성되도록 포토마스크를 준비하는 단계; 및

상기 준비된 포토마스크를 이용하여 노광 공정을 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 투과율 및 위상 조절 방법.

#### 청구항 8.

제7항에 있어서, 상기 이진 격자는 상기 투명 기판의 배면을 선택적으로 식각함으로써 형성되는 것을 특징으로 하는 투과율 및 위상 조절 방법.

#### 청구항 9.

제7항에 있어서, 상기 이진 격자의 주기는 상기 격자를 통과하는 노광용 입사광의 파장 크기 이하인 것을 특징으로 하는 투과율 및 위상 조절 방법.

#### 청구항 10.

제7항에 있어서, 상기 이진 격자의 등배비 및 배치 방향을 통해 웨이퍼 샷 균일도를 조절하는 것을 특징으로 하는 투과율 및 위상 조절 방법.

**청구항 11.**

제7항에 있어서, 상기 이진 격자의 등배비 및 배치 방향을 통해 다중 위상의 회절 광학 소자를 구현하는 것을 특징으로 하는 투과율 및 위상 조절 방법.

**청구항 12.**

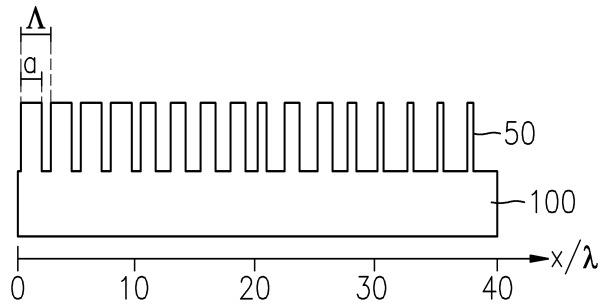
제1항의 포토마스크를 이용하여 상기 투명 기관의 배면에 형성된 격자를 통과하는 노광용 입사광의 투과율 및 위상을 조절하는 방법.

**청구항 13.**

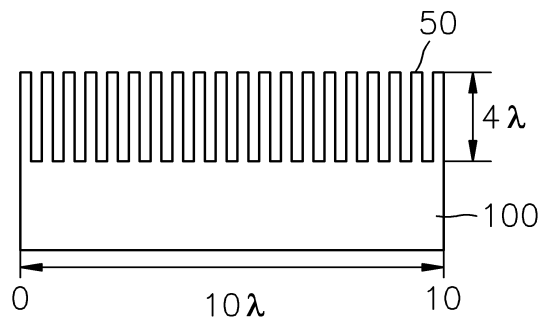
제12항에 있어서, 상기 격자의 주기는 상기 노광용 입사광의 파장 크기이하 인 것을 특징으로 하는 노광용 입사광의 투과율 및 위상을 조절하는 방법.

도면

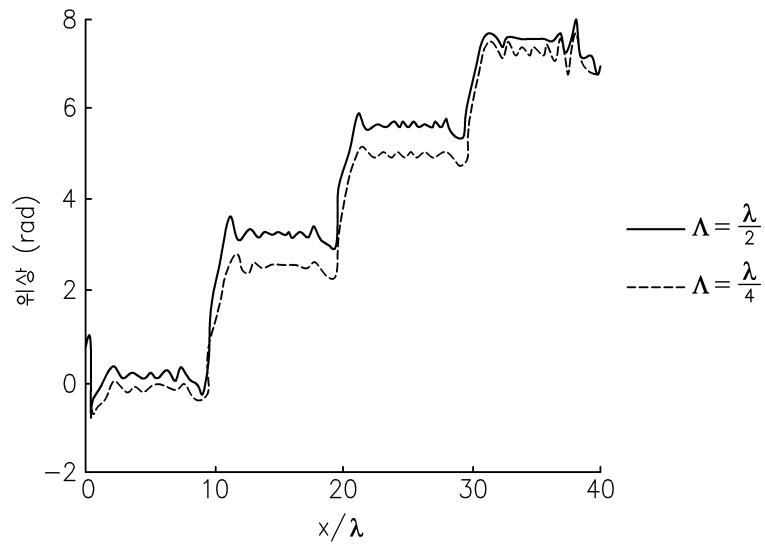
도면1a



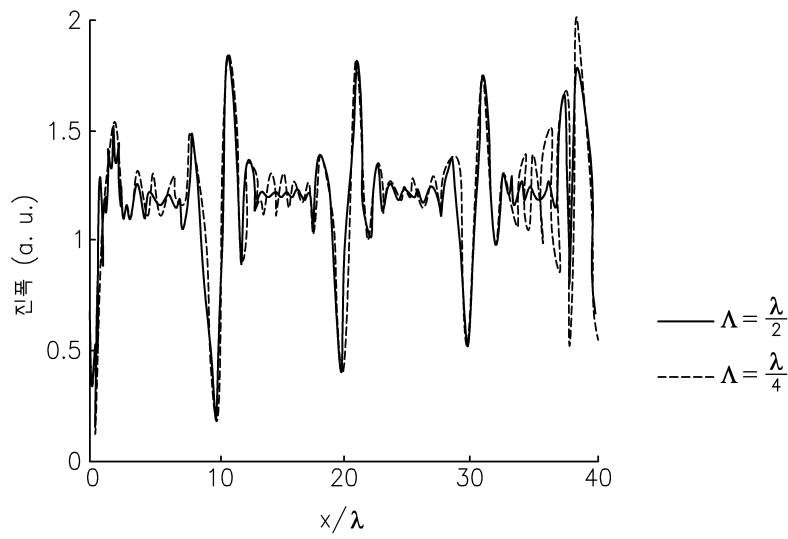
도면1b



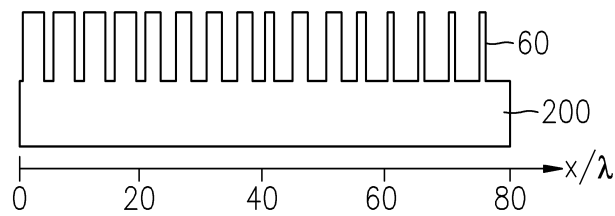
도면2



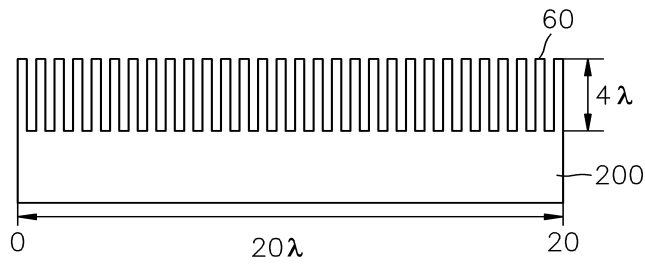
도면3



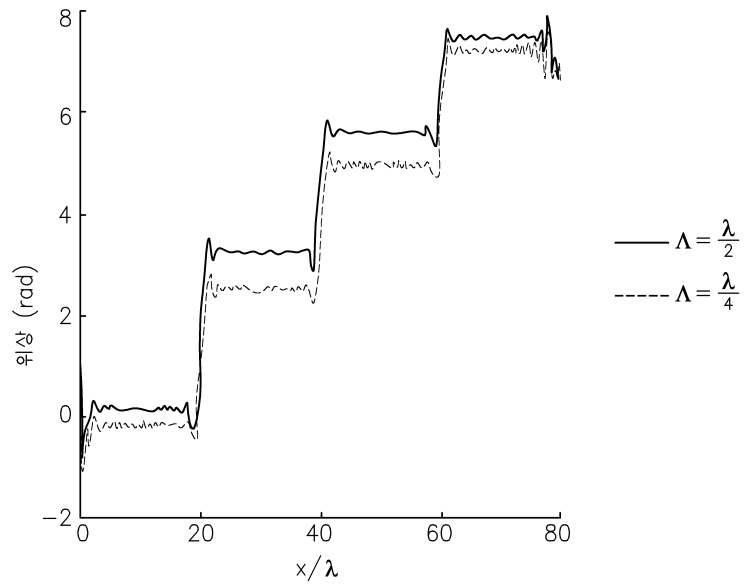
도면4a



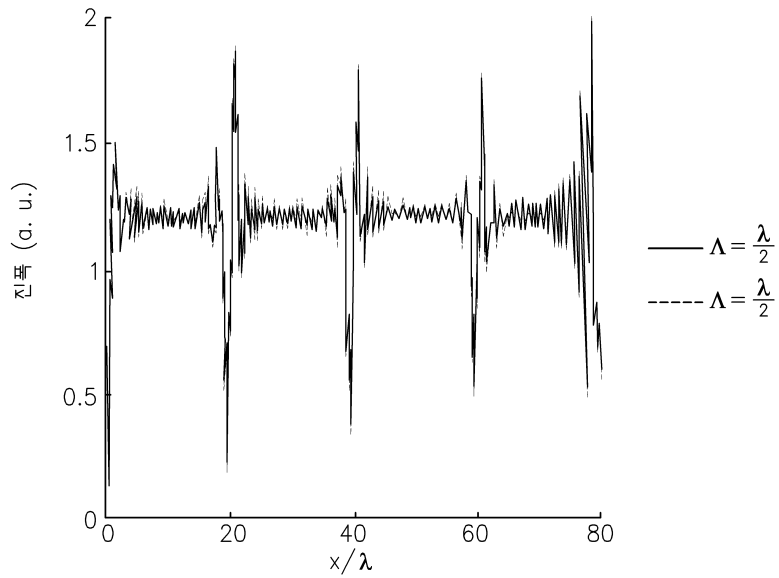
도면4b



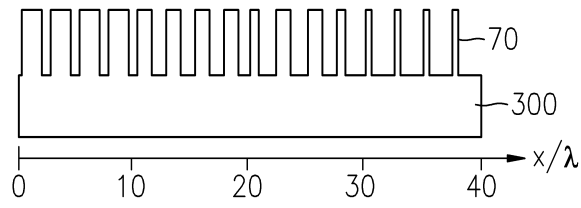
도면5



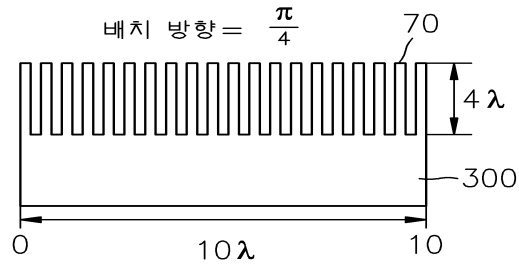
도면6



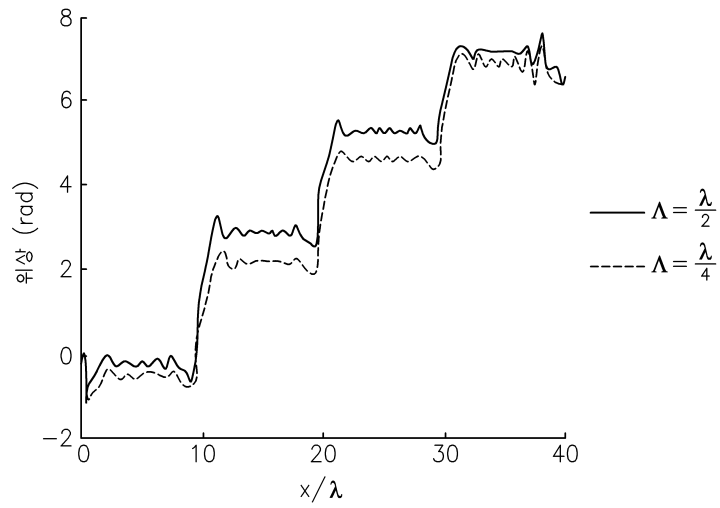
도면7a



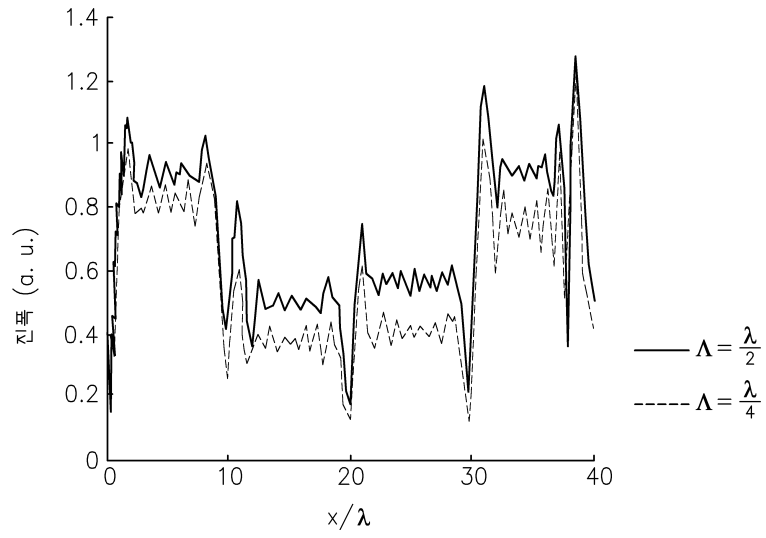
도면7b



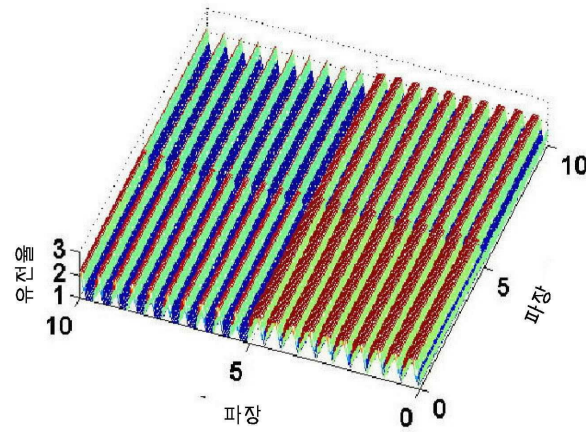
도면8



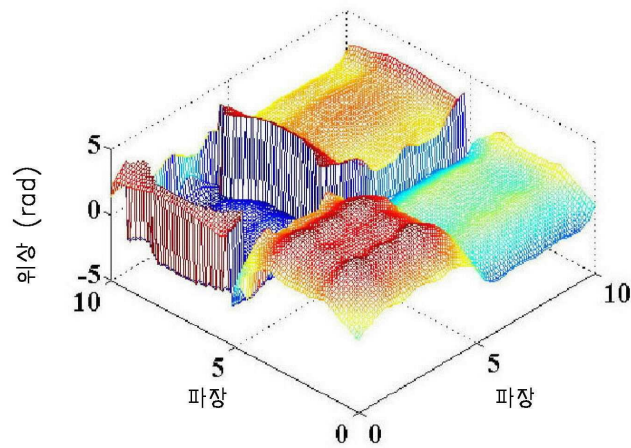
도면9



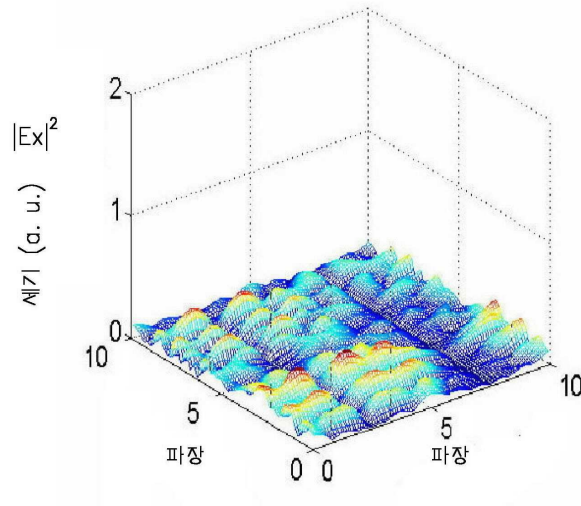
도면10



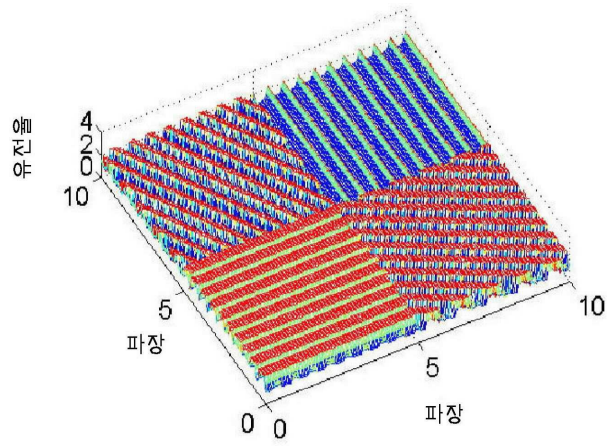
도면11



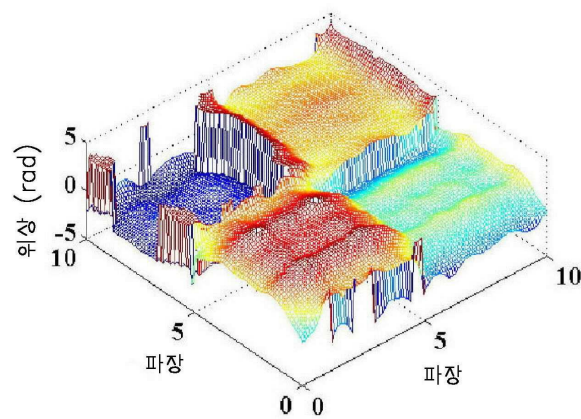
도면12



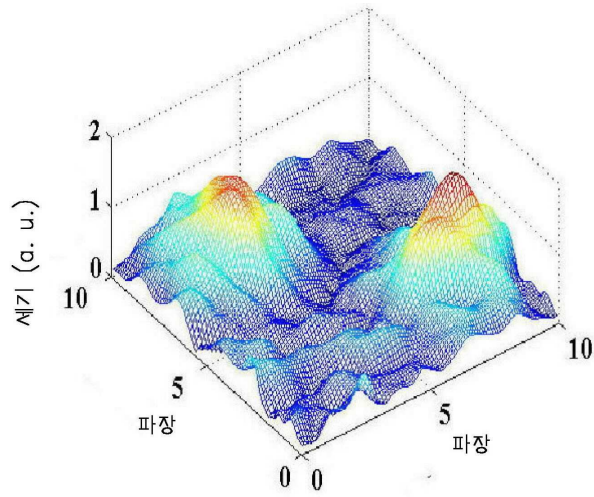
도면13



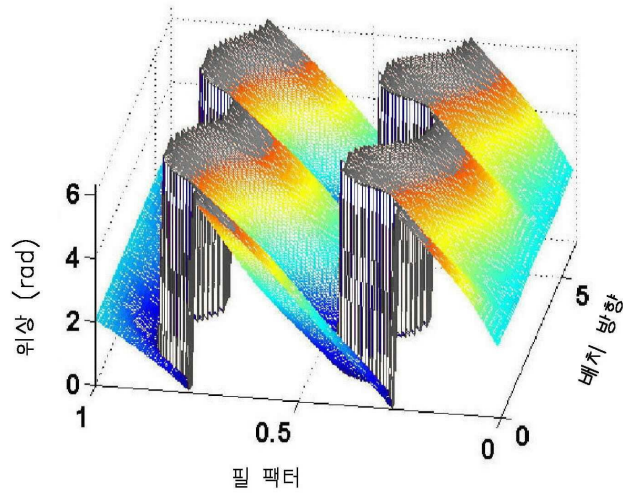
도면14



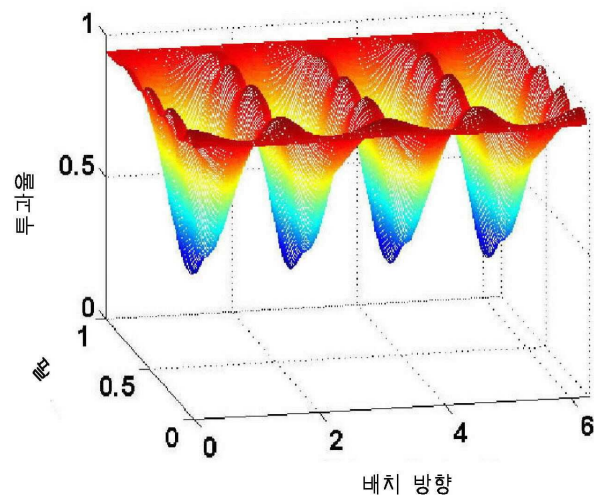
도면15



도면16



도면17





도면18

