

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(51) Int. Cl.⁷ (11) 공개번호 10-2005-0111362
H01S 5/18 (43) 공개일자 2005년11월24일

(21) 출원번호 10-2005-7017316
(22) 출원일자 2005년09월15일
 번역문 제출일자 2005년09월15일
(86) 국제출원번호 PCT/JP2004/003987 (87) 국제공개번호 WO 2004/086575
 국제출원일자 2004년03월23일 국제공개일자 2004년10월07일

(30) 우선권주장 JP-P-2003-00083706 2003년03월25일 일본(JP)

(71) 출원인 도꾸리쓰교세이호징 가가꾸 기쥬쓰 신키 기꼬
일본 사이따마켄 가와구찌시 혼쵸 4쵸메 1방 8고

(72) 발명자 노다 스스무
일본 교토 우지시 고카쇼우 교우다이 슈쿠시아 231
요코야마 미츠루
일본 도쿄 히노시 사쿠라마치1반지 코니카 미놀타테크놀로지 센터 가부
시끼가이샤내
세키네 고우지로우
일본 도쿄 히노시 사쿠라마치1반지 코니카 미놀타테크놀로지 센터 가부
시끼가이샤내
미야이 에이지
일본 교토 교토시 니시교쿠 가타기하라야마지 16-1 벡스트 라이프 101

(74) 대리인 김윤배
이범일

심사청구 : 있음

(54) 2차원 포토닉 결정면 발광레이저

요약

본 발명은, 캐리어의 주입에 의해 발광하는 활성층(제1매질; 12) 또는 그 근방에, 굴절률이 다른 제2매질로 된 포토닉 결정주기 구조체(21)를 2차원의 주기로 배열한 2차원 포토닉 결정면 발광레이저로서, 포토닉 결정(20)의 격자구조는 정방격자 또는 직교격자이고, 병진대칭성을 갖지만 회전대칭성을 갖지 않는다. 또, 포토닉 결정(20)의 격자구조는 정방격자 또는 직교격자이고, 2차원 무늬의 분류방법으로 p1, pm, pg 또는 cm 중 어느 하나이다. 가장 바람직하기는 격자점의 형상이 대략 삼각형으로 된 것이다.

대표도

도 1

명세서

기술분야

본 발명은, 2차원 포토닉 결정면 발광레이저, 특히, 캐리어의 주입에 의해 발광하는 활성층 또는 그 근방에, 2차원적으로 굴절률 주기를 배치한 포토닉 결정주기 구조체를 갖추고, 포토닉 결정에 의해 공진(共振)을 해서 면발광하는 2차원 포토닉 결정면 발광레이저에 관한 것이다.

배경기술

종래에도 기관면으로부터 수직방향으로 레이저광을 출사하는 면발광레이저가 여러 가지 개발, 연구되어 있다. 면발광레이저는 동일 기관 상에 다수의 소자를 집적(어레이화)할 수 있어, 각 소자로부터 코히어런트한 광(coherent light)이 병렬적으로 출사되기 때문에, 병렬 광픽업, 병렬 광전송, 광병렬 정보처리의 분야에서의 용도가 기대되고 있다.

이런 종류의 면발광(面發光) 레이저로서, 포토닉 결정(結晶)을 이용한 2차원 포토닉 결정면 발광레이저가 일본국 공개특허공보 제2000-332351호에 개시되어 있다. 포토닉 결정이라 함은, 광의 파장과 동일한 정도 또는 더 작은 굴절률 주기를 가진 결정으로, 유전체의 다차원 주기 구조체에서는 반도체의 결정 중에서 전자 상태에서 밴드갭(band gap)이 생기게 됨과 마찬가지로 원리에 따라, 광의 도파를 억제하는 파장대(포토닉 밴드 갭)가 생겨 광을 2차원 또는 3차원으로 감금할 수가 있게 된다.

상기 특허문헌에 기재된 2차원 포토닉 결정면 발광레이저는, 캐리어의 주입에 따라 발광하는 활성층의 근방에, 2차원적으로 굴절률 주기를 배치한 포토닉 결정주기 구조체를 갖추어, 포토닉 결정에 의해 공진을 해서 면발광을 하는 것이다.

구체적으로는, 도 25에 도시된 것과 같이, 2차원 포토닉 결정면 발광레이저(10)는, 개략, 기관(11) 상에 하부 클래드층(12), 활성층(13), 상부 클래드층(14)이 적층되고, 하부 클래드층(12)에는 활성층(13)의 근방에 2차원 포토닉 결정(20)이 내장되어 있다.

기관(11)은, 예컨대 n형 InP의 반도체재료로 이루어져 있다. 하부 클래드층(12) 및 상부 클래드층(14)은, 예컨대 각각 n형 및 p형 InP의 반도체층으로 되어 있어, 활성층(13) 보다도 굴절률이 낮다.

2차원 포토닉 결정(20)은, 하부 클래드층(12)에 형성된 빈구멍(포토닉 결정주기 구조체(21), 격자점으로도 칭함)으로 구성되고, 하부 클래드층(12)과는 굴절률이 다른 매질이 2차원의 주기로 배열된 정방격자나 삼각격자로 이루어져 있다. 빈구멍 내에는 SiN 등을 충전하여도 좋다. 활성층(13)은, 예컨대 InGaAs/InGaAsP계의 반도체재료를 이용한 다중량자(多重量子) 정호구조(井戶構造)로 되어 있어, 캐리어의 주입에 의해 발광하게 된다.

하부 클래드층(12) 및 상부 클래드층(14)에 의해 활성층(13)을 사이에 두고서 더블헤테로 접합을 형성시켜, 캐리어를 감금하여 발광에 기여하는 캐리어를 활성층(13)에다 집중시키도록 되어 있다.

기관(11)의 바닥면 및 상부 클래드층(14)의 상부면에는 금 등으로 된 하부전극(16) 및 상부전극(17)이 형성되어 있다. 이들 전극(16, 17) 사이에 전압을 인가함으로써 활성층(13)이 발광을 하여, 당해 활성층(13)으로부터 누설광이 2차원 포토닉 결정(20)으로 입사하게 된다. 2차원 포토닉 결정(20)의 격자 간격에 파장이 일치하는 광은, 2차원 포토닉 결정(20)에 의해 공진을 해서 증폭되게 된다. 이에 따라, 상부 클래드층(14)의 상부면[전극(17)의 주위에 위치하는 발광영역(18)]으로부터 코히어런트한 광이 면발광하게 된다.

여기서, 도 26에 도시된 것과 같은 정방격자로 된 2차원 포토닉 결정(20)에 대해 공진작용을 설명한다. 한편, 격자형상은 정방격자에 한하지 않고, 직교격자 등으로 되어도 좋다.

2차원 포토닉 결정(20)은, 제1매질(12) 내에 빈구멍 등의 제2매질(21)과 직교하는 2방향으로 같은 주기로 형성된 정방격자로 되어 있다. 정방격자는 Γ -X 방향과 Γ -M 방향의 대표적인 방향을 갖도록 되어 있다. Γ -X 방향에 인접하는 제2매질(21)의 간격을 a로 하면, 제2매질(21)을 격자점(格子點)으로 한 1변이 a인 정방형으로 되는 기본격자 E가 형성되도록 되어 있다.

파장 λ 가 기본격자(E)의 격자간격(a)에 일치하는 광(L)이 Γ -X 방향으로 진행되면, 광(L)은 격자점에서 회절(回折)하게 된다. 이 중, 광(L)의 진행방향에 대해 $0^\circ, \pm 90^\circ, 180^\circ$ 의 방향으로 회절된 광만 블랙조건을 만족시키게 된다. 그리고, $0^\circ, \pm 90^\circ, 180^\circ$ 의 방향으로 회절된 광의 진행방향에도 격자점이 존재하기 때문에, 회절광은 재차 진행방향에 대해 $0^\circ, \pm 90^\circ, 180^\circ$ 방향으로 회절하게 된다.

광(L)이 1회 또는 여러 차례의 회절을 반복하면, 회절광이 원래의 격자점으로 되돌려지기 때문에 공진작용이 생기게 된다. 또, 도 26의 지면에 수직인 방향으로 1차회절된 광도 블랙조건을 만족시키게 된다. 이 때문에, 공진에 의해 증폭된 광이 상부 클래드층(14)을 거쳐 출사되어 면발광 기능을 갖게 된다. 또, 모든 격자점에서 이러한 현상이 생기기 때문에, 면 내부 전역에서 코히어런트한 레이저발진이 가능해지게 된다.

상기 포토닉 결정을 이용한 2차원적인 공진현상을 보다 정량적으로 생각하기 위해, 2차원 정방격자 포토닉 결정에서의 광의 분산관계를 도 27에 나타내었다. 도 27에서, 가로축은 파수벡터라 칭하는 광의 파수(波數)의 방향과 크기를 나타낸다. 세로축은 광의 주파수에 a/c 를 곱하여 무차원화(無次元化)한 규격화 주파수이다. 여기서, c 는 광속(단위 : m/sec)이고, a 는 격자간격(단위 : m)이다.

광의 에너지의 전파속도인 군속도(群速度; v_g)는 $\delta\omega/\delta k$ 로 표시되기 때문에, 도 27에서 그 기울기가 0으로 되는 밴드단(端)에서는, 광의 군속도는 0으로 되어, 정재파(定在波)가 생기는 것을 의미한다. 따라서, 여러 가지 밴드단에서, 각각의 밴드단에 대응한 특징 있는 레이저 발진이 가능하게 된다. 그 중에서도, 포인트 S(Γ 점 제2군)의 밴드단이, 상기 4파의 결합과, 면에 수직인 방향으로 광을 취출하는 발진점이 된다.

도 28에 상기 포인트 S에 대해 상세히 나타내어져 있다. 이 도 28을 참조 하면, Γ 점의 밴드단에는 1개의 2중 축퇴(縮退)를 한 밴드단(III, IV)을 포함한 4개의 밴드단(모드; I, II, III, IV)이 있는바, 레이저발진은 이 4개의 밴드단(모드) 중 어느 것에서 생긴다고 생각할 수 있다.

이들 4개의 모드 중 밴드단 III, IV의 2점은 축퇴되어 있기 때문에, 축퇴의 성질에 따라 전계분포가 일의적으로 정해지지 않아 불안정하게 된다. 또, 축퇴되어 있지 않은 다른 2개의 모드 I, II는, 편광이 특이하게 되어 있는바, 도 29 및 도 30에 도시된 것과 같은 특징을 갖도록 되어 있다. 도 29는 모드 I의 면발광성분의 전계분포를 나타내고, 도 30은 모드 II의 면발광성분의 전계분포를 나타내고 있다.

도 29 및 도 30에서 알 수 있듯이, 모드 I, II와 더불어, 편광방향이 장소에 따라 차이가 나기 때문에, 편광이 정렬되어 있을 것이 요구되는 용도에는 사용할 수 없다고 하는 문제가 있다. 또, 발광면의 중심부에서는 서로 방해하는 방향으로 전계가 서로 겹치도록 되어 있어, 결과적으로 주변만 밝고 중심부는 어두운 도너츠 형상의 발광을 하도록 되게 된다.

또, 2중 축퇴한 모드 III, IV에 대해서는, 앞에서 설명한 바와 같이 축퇴의 성질에 따라 전계분포가 일정하지 않기 때문에, 이 모드 III, IV에서도 편광은 일의적으로 정해지지 않고 불안정하게 된다. 그리하여, 본 발명자 등은, 편광 방향을 어느 특정한 방향으로 가지런해지도록 하는 것을 검토해서, 2차원 포토닉 결정을 구성하는 격자점의 형상을 적절히 설계함으로써, 편광이 한쪽 방향으로 가지런해지도록 할 수 있음을 찾아내었다(일본국 특허공개공보 제2003-23193호 참조)

그 1예로서, 격자점의 형상이 타원형상을 이루는 경우의 발진점(發振點) 부근의 밴드구조를 도 31에 나타내고, 그 전계분포를 도 32a, 도 32b~도 35a, 도 35b에 나타내었다.

도 31에 도시된 밴드구조에 따라 격자점 형상이 진정한 원형상일 때 축퇴되어 있던 모드 III, IV는 완전히 축퇴가 풀려 새로운 모드 III', IV'로 되어 있음을 알 수가 있다. 한편, 격자점 형상의 타원화에 의해 얻어진 모드를 에너지가 낮은 쪽으로부터, 모드 I', II', III', IV'로 이름 붙여, 진정한 원인 경우의 모드와 구별하도록 한다.

또, 격자점 형상의 타원화에 의한 효과에서 대단히 중요한 점으로는, 축퇴가 풀려진 모드 III' 및 모드 IV'는 물론, 모드 I' 및 모드 II'에 있어서도 편광방향이 한쪽 방향으로 가지런해져 있음이 전계분포를 나타낸 도 32a, 도 32b~도 35a, 도 35b에서 알 수가 있다.

그런데, 모드 III', IV'는 편광방향에 더해 위상(位相)도 발광면의 모든 장소에서 가지런해져 있다. 이에 대해, 모드 I', II'는 편광방향은 가지런해져 있으나, 중심부를 사이에 두고서 상하(모드 I') 또는 좌우(모드 II')에서 위상이 180° 반전되어 있기 때문에, 발광면의 중심부에서는 상호 전계가 방해되어 어두워지는 쌍봉성(雙峰性)의 발진을 한다고 하는 문제를 보게 되었다.

그리고, 포토닉 결정의 공진기(共振器)로서의 성질에 따라, 모드 I', II' 쪽이 모드 III', IV' 보다도 Q값이 높아, 모드 III', IV'를 발진 모드로 선택하면, 모드 I', II'를 발진 모드로 선택한 경우에 비하면, 임계치가 높아진다고 하는 문제점도 볼 수 있었다. 즉, 사용하기 쉬운 단봉성의 직선편광과, 낮은 임계화(Q값이 높은)의 양립이 곤란해지게 된다.

발명의 상세한 설명

본 발명의 목적은, 면발광된 광이 단봉성의 직선편광임과 더불어, Q값이 높은 2차원 포토닉 결정면 발광레이저를 제공함에 있다.

이상의 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 캐리어의 주입에 의해 발광하는 활성층 또는 그 근방에, 굴절률이 다른 매질을 2차원의 주기로 배열한 포토닉 결정주기 구조체를 내장한 2차원 포토닉 결정면 발광레이저에서, 상기 포토닉 결정의 격자구조가, 정방격자 또는 직교격자이고, 병진대칭성은 갖지만 회전대칭성은 갖지 않은 포토닉 결정을 내장하고 있는 것임을 특징으로 한다.

또, 본 발명은, 캐리어의 주입에 의해 발광하는 활성층 또는 그 근방에, 굴절률이 다른 매질을 2차원의 주기로 배열한 포토닉 결정주기 구조체를 내장한 2차원 포토닉 결정면 발광레이저에서, 상기 포토닉 결정의 격자구조가, 정방격자 또는 직교격자이고, 2차원 무늬의 IUC(International Union of Crystallography in 1952)의 분류방법으로 p1, pm, pg 또는 cm 중 어느 것으로 된 포토닉 결정을 내장하고 있는 것임을 특징으로 한다.

상기와 같이 구성된 본 발명에 따른 2차원 포토닉 결정면 발광레이저에서는, 포토닉 결정의 격자구조를 병진대칭성을 갖지만 회전대칭성은 갖지 않은 구조로 함으로써, 다시 말해, 상기 분류방법으로 p1, pm, pg 또는 cm 중 어느 것으로 함으로써, 면발광된 광이 단봉성의 직선편광임과 더불어, Q값을 높게(임계치를 낮춘) 할 수가 있다.

또, 상기와 같이 구성된 본 발명에 따른 2차원 포토닉 결정면 발광레이저에서, 포토닉 결정의 격자점의 형상으로는 대략 삼각형인 것이 바람직하다. 또, 포토닉 결정의 격자점의 형상은, 비교적 큰 원형상과 비교적 작은 대략 원형상이 조합으로 구성되어도 좋다. 또는, 포토닉 결정의 격자점이 굴절률이 다른 2종류 이상의 매질 또는 굴절률 분포를 가진 매질에 의해 구성되어 있어도 좋다.

도면의 간단한 설명

- 도 1은, 본 발명에 따른 2차원 포토닉 결정면 발광레이저의 결정면 구조의 1예(격자점이 삼각형상)를 나타낸 평면도,
- 도 2는, 도 1에 나타난 포토닉 결정의 면발광 성분(모드 I")의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 3은, 도 1에 나타난 포토닉 결정의 면발광 성분(모드 II")의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 4는, 도 1에 나타난 포토닉 결정의 면발광 성분(모드 III")의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 5는, 도 1에 나타난 포토닉 결정의 면발광 성분(모드 IV")의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 6a, 도 6b, 도 6c는, 격자점을 진정한 원형상으로 한 경우의 모드 I에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 7a, 도 7b, 도 7c는, 격자점을 타원형상으로 한 경우의 모드 I에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 8a, 도 8b, 도 8c는, 격자점을 삼각형상으로 한 경우의 모드 I에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 9a는, 격자점을 진정한 원형상으로 한 경우의 모드 I에 관해서 포토닉 결정영역에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 9b는, 동 모드 I에 관해서 면발광 성분의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 10a는, 격자점을 삼각형상으로 한 경우의 모드 I에 관해서 포토닉 결정영역에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
- 도 10b는, 동 모드 I에 관해서 면발광 성분의 전계분포를 나타낸 차트도,

- 도 11a, 도 11b, 도 11c는, 격자점을 진정한 원형상으로 한 경우의 모드 II에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 12a, 도 12b, 도 12c는, 격자점을 타원형상으로 한 경우의 모드 II'에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 13a, 도 13b, 도 13c는, 격자점을 삼각형상으로 한 경우의 모드 II"에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 14a는, 경영을 나타낸 설명도,
 도 14b는, 미끄럼경영을 나타낸 설명도,
 도 15는, 격자점 형상과 그 배열의 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 16은, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 17은, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 18은, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 19는, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 20은, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 21은, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 22는, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 23은, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 24는, 격자점 형상과 그 배열의 또 다른 예를 나타낸 평면도,
 도 25는, 본 발명에 선행하는 2차원 포토닉 결정면 발광레이저를 나타낸 사시도,
 도 26은, 2차원 포토닉 결정면 발광레이저의 공진작용을 나타낸 설명도,
 도 27은, 격자점이 진정한 원형상인 2차원 정방격자 포토닉 결정에서의 광의 분산관계를 나타낸 밴드도,
 도 28은, 도 27의 포인트 S의 상세를 나타낸 밴드도,
 도 29는, 격자점이 진정한 원형상인 모드 I의 면발광 성분의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 30은, 격자점이 진정한 원형상인 모드 II의 면발광성분의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 31은, 격자점을 타원형상으로 한 2차원 정방 격자 포토닉 결정에서의 광의 분산관계를 나타낸 밴드도,
 도 32a는, 격자점을 타원형상으로 한 모드 I'에 관해서 면발광성분의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 32b는, 동 모드 I'에 관해서 포토닉 결정영역에서의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 33은, 격자점을 타원형상으로 한 모드 II'의 면발광성분의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 34는, 격자점을 타원형상으로 한 모드 III'의 면발광 성분의 전계분포를 나타낸 차트도,
 도 35a는, 격자점을 타원형상으로 한 모드 IV'에 관해서 면발광 성분의 전계분포를 나타낸 차트도,

도 35b는, 동 모드 IV'에 관해서 포토닉 결정영역에서의 전계분포를 나타낸 차트도이다.

실시에

이하, 본 발명에 따른 2차원 포토닉 결정면 발광레이저의 실시예에 대해, 첨부도면을 참조해서 설명한다.

(격자점이 삼각형상인 경우)

본 발명에 따른 2차원 포토닉 결정면 발광레이저는, 도 1에 그 평면구조를 도시한 것과 같이, 굴절률 n_1 인 제1매질(하부 클래드층; 12)에 굴절률 n_2 (단, $n_1 \neq n_2$)인 제2매질(포토닉 결정주기 구조체, 격자점으로도 칭함; 21)을 정방격자모양으로 배치한 2차원 포토닉 결정(20)으로 이루어진다. 이 기본적인 구조는 도 25에 나타낸 종래의 면발광레이저와 마찬가지로, 도 26에 도시된 원리에 따라 면발광하게 된다.

도 1에 도시된 2차원 포토닉 결정(20)은 그 포토닉 주기구조체(21)의 형상을 삼각형으로 해서 정방격자를 구성한 것으로, 병진대칭성(並進對稱性)은 갖지만 회전대칭성은 갖고 있지 않다.

도 2~도 5에는, 포토닉 결정주기 구조체(21)를 삼각형상으로 함으로써 얻어지는 면발광성분의 전계분포가 나타나 있다. 이 2차원 포토닉 결정(20)에 있어서도 4가지의 모드가 존재해서, 각각 모드 I", II", III", IV"로 이름을 붙였다. 도 2~도 5에서 알 수 있듯이, 모든 모드에서 단봉성(單峰性)의 직선편광발진이 얻어지고 있음을 알 수가 있다.

모드 I", II", III", IV"는, 각각 격자형상이 타원형인 경우의 모드 I', II', III', IV'(도 32a, 도 32b~도 35a, 도 35b 참조)와 동류의 모드이기 때문에, 모드 I", II"는 모드 III", IV"에 비해 공진기로서의 Q값이 높아 임계치가 낮아지는 이점을 갖도록 되어 있다. 즉, 모드 I", II"에서 낮은 임계치와 단봉성이 양립할 수가 있게 된다. 따라서, 격자점이 삼각형상인 2차원 포토닉 결정(20)에서는 모드 I" 또는 모드 II"를 발진모드로 사용하게 된다.

앞에서 설명된 현상은 이하와 같이 이해된다. 2차원 포토닉 결정은, 발광면에 대해 수직방향으로 광을 추출하는 형식의 레이저인바, 추출되는 광의 편광은 포토닉 결정을 구성하도록 되어 있는 주기적인 굴절률 분포 중, 굴절률이 낮은 부분에 분포되어 있는 전계의 방향으로 결정된다. 격자점 형상이 타원인 경우, 예컨대, 모드 I'의 경우, 도 32b에 도시된 포토닉 결정영역에서의 전계분포를 보면, 전계는 굴절률이 낮은 타원 격자점들 사이에 두고서, 그 상하로, 오른쪽 방향으로 진행하는 전계와, 왼쪽 방향으로 진행하는 전계가 존재하기 때문에, 이 광이 회절(回折)에 의해 포토닉 결정으로부터 추출되어 간섭을 거친 결과, 전계는 도 32a에 도시된 것과 같이 중심을 사이에 두고서 상하에서 위상이 다른 전계분포를 갖도록 되어 있다.

한편, 예컨대, 모드 IV'의 경우, 도 35b에 도시된 포토닉 결정영역에서의 전계분포를 보면, 전계는 굴절률이 낮은 타원 격자점을 한쪽 방향으로 관통하도록 분포되어 있기 때문에, 이 광이 회절에 의해, 포토닉 결정으로부터 꺼내져 간섭을 거친 결과, 전계는 도 35a에 도시된 바와 같이 한쪽 방향으로 나란하게 되어 있다.

따라서, 직선편광을 가진 단봉성의 전계분포를 구비한 방사모드를 얻는 데에는, 2차원 포토닉 결정의 면 내에서 굴절률이 낮은 제2매질에, 방향이 나란한 전계를 분포시키면 좋게 된다.

그리하여, 도 6a, 도 6b, 도 6c~도 8a, 도 8b, 도 8c에 격자점을 진정한 원형상, 타원형상 및 삼각형상으로 한 경우의 모드 I, I', I"에서의 전계분포의 모습을 모식적으로 나타내었다. 도 6a, 도 7a, 도 8a는, 포토닉 결정 내부에서의 전계분포를 나타내고, 도 6b, 도 7b, 도 8b는 굴절률이 낮은 제2매질(2차원 포토닉 주기결정 구조체)에서 1주기분을 추출한 경우의 전계분포를 나타낸다. 또, 도 6c, 도 7c, 도 8c는 발광면에 수직방향으로 추출된 성분의 전계분포를 나타낸다. 도 9a, 도 9b, 도 10a, 도 10b에는 보다 상세한 전계분포를 나타내고, 도 9a, 도 9b는 격자점이 진정한 원형상인 경우, 도 10a, 도 10b는 격자점이 삼각형상인 경우를 각각 나타낸다.

그런데, 격자점을 삼각형상으로 한 경우, 발광면에 수직방향으로 추출된 성분의 전계분포는, 도 8a, 도 8b, 도 8c에 도시된 것과 같이, 엄밀하게는, 굴절률이 낮은 제2매질 부분에 분포하는 전계를 180°회전시킨 상(像)으로 된다.

도 11a, 도 11b, 도 11c~도 13a, 도 13b, 도 13c에는, 상기 도 6a, 도 6b, 도 6c~도 8a, 도 8b, 도 8c 와 마찬가지로, 격자점을 진정한 원형상, 타원형상 및 삼각형상으로 한 경우의 모드 II, II', II"에서의 전계분포의 모습을 모식적으로 나타내었다.

(격자점 형상의 조건 및 종류)

도 8a, 도 8b, 도 8c, 도 13a, 도 13b, 도 13c에서 알 수 있듯이, 격자점을 삼각형상으로 한 본질적인 특징은, 굴절률의 주기와 전계분포의 주기를 어긋나게 하는 것에 있다. 이와 같은 현상은 격자점이 삼각형상일 경우 뿐만 아니라, 2차원 포토닉 결정을 구성하도록 되어 있는 격자구조가 아래의 조건을 만족시킴으로써 얻어진다.

즉, 격자구조가, 회전대칭성을 포함하지 않는 정방 격자구조 또는 직교 격자구조이면 좋다. 일반적으로, 2차원의 반복 문양은, IUC(International Union of Crystallography in 1952)의 분류방법으로 17종으로 분류할 수 있음이 알려져 있다. 17종이라 함은, pl, pm, pg, cm, p2, pmm, pgg, cmm, pmg, p4, p4m, p4g, p3, p31m, p3m1, p6, p6m이다.

그 중, 회전대칭성을 포함하지 않는 문양은, 이하의 표 1에 나타내어진 것과 같이, p1, pm, pg, cm의 4종이다. 삼각형상의 격자구조의 경우는 pm에 상당한다.

(표 1)

(회전 대칭성을 포함하지 않는 2차원 문양의 분류)

IUC기호	판정조건	가능한 격자구조
p1	경영, 미끄럼경영을 포함하지 않음.	사교(斜交)격자, 직교격자, 면심격자, 정방격자, 6방격자
pm	경영을 포함함. 미끄럼경영축은 반드시 경영축에도 있음.	직교격자, 정방격자
pg	경영을 포함하지 않음. 미끄럼경영을 포함함.	직교격자, 정방격자
cm	경영을 포함함. 경영축이 아닌 미끄럼경영축이 존재함.	면심격자, 정방격자, 6방격자

경영(鏡映)이라 함은, 도 14a에 도시된 것과 같이, 경영축(鏡映軸)에 대해 선대칭인 문양을 말한다. 미끄럼경영이라 함은, 도 14b에 도시된 것과 같이, 경영문양이 미끄럼경영축에 대해 평행이동한 경우를 말한다.

다음, 격자점 형상으로서 고려될 수 있는 여러 가지 형상을 도 15~도 24에 문양의 종류(p1, pm, pg, cm 중 어느 것)와 함께 나타내었다. 한편, 각 도15~도 21에서는 격자점 형상의 각부(角部)가 90° 내지 그 이하의 각도로 그려져 있지만, 실제로 가공된 주기구조체에 있어서는, 그들의 각부는 둥그스름하게 되어 있다.

병진대칭성은 갖고 있으나 회전대칭성을 갖지 않은 격자구조는, 하나 하나 격자점 형상을 바꾸지 않더라도, 도 22 또는 도 23에 도시된 것과 같이, 진정한 원형상의 격자점(21)에 작은 원형상(21')을 부가함으로써 실현될 수 있다. 또, 작은 원형상을 부가하는 방법도, 수 주기(周期)에 1회로도 좋다. 요컨대, 개개의 격자점 형상 뿐만 아니라, 격자구조 전체로서 유한(有限) 사이즈의 기본격자가 정의될 수 있어, 그것이 정방격자 또는 직교격자로서 반복되는 문양이라면 좋다.

또, 도 24에 도시된 것과 같이, 격자점 형상 자체는 진정한 원이라 하더라도, 격자점에 제3의 굴절률(n3)의 매질을 마련함으로써, pm의 문양에 상당하는 격자구조를 실현할 수 있다. 제1매질에 빈구멍을 형성한 후, 당해 빈구멍에 굴절률 n2, n3인 매질을 충전하면 좋다. 또는, 굴절률 n2인 매질을 공기로 하면, 굴절률 n3인 매질을 반원형상으로 충전하면 좋다. 또, 격자점은 굴절률이 다른 2종 이상의 굴절률 분포를 가진 매질에 의해 충전되어 있어도 좋다.

(다른 실시예)

한편, 본 발명에 따른 2차원 포토닉 결정면 발광레이저는 상기 실시예로 한정되는 것은 아니고, 그 요지의 범위 내에서 여러 가지로 변경할 수가 있다.

특히, 반도체층, 포토닉결정, 전극의 재료나, 광의 편광을 가지런히 하기 위한 구조 등은 임의이다. 또, 포토닉 결정주기 구조체는, 하부 클래드층 이외에 상부 클래드층 내의 활성층 근방 또는 활성층 내에 설치하여도 좋다.

또, 제1매질과 제2매질의 굴절률의 관계는, 상기 실시예에서는 제2매질의 굴절률이 제1매질의 굴절률보다 낮은 것으로 해서 설명하였으나, 역의 관계라 하더라도 좋다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

캐리어의 주입에 의해 발광하는 활성층 또는 그 근방에, 굴절률이 다른 매질을 2차원의 주기로 배열한 포토닉 결정주기 구조체를 내장한 2차원 포토닉 결정면 발광레이저에서,

상기 포토닉 결정주기 구조체의 격자구조가, 정방격자 또는 직교격자이고, 병진대칭성은 갖고 있으나 회전대칭성은 갖고 있지 않은 포토닉 결정을 내장하고 있는 것임을 특징으로 하는 2차원 포토닉 결정면 발광레이저.

청구항 2.

캐리어의 주입에 의해 발광하는 활성층 또는 그 근방에, 굴절률이 다른 매질을 2차원의 주기로 배열한 포토닉 결정주기 구조체를 내장한 2차원 포토닉 결정면 발광레이저에서,

상기 포토닉 결정주기 구조체의 격자구조가, 정방격자 또는 직교격자이고, 2차원 문양의 IUC(International Union of Crystallography in 1952)의 분류방법으로 p1, pm, pg 또는 cm 중 어느 하나인 포토닉 결정을 내장하고 있는 것임을 특징으로 하는 2차원 포토닉 결정면 발광레이저.

청구항 3.

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 포토닉 결정의 격자점의 형상이 대략 삼각형인 것을 특징으로 하는 2차원 포토닉 결정면 발광레이저.

청구항 4.

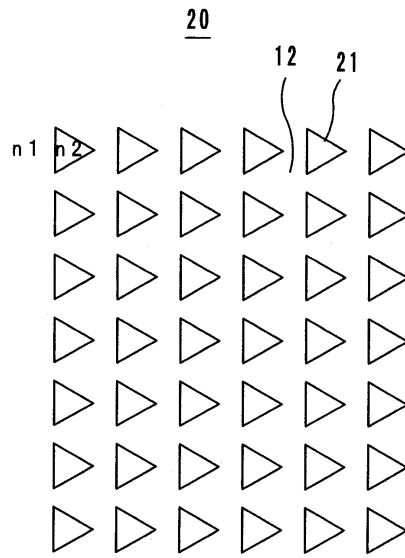
제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 포토닉 결정의 격자점의 형상이, 비교적 큰 거의 원형상과 비교적 작은 거의 원형상의 조합으로 된 것을 특징으로 하는 2차원 포토닉 결정면 발광레이저.

청구항 5.

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 포토닉 결정의 격자점이, 굴절률이 다른 2종류 이상의 매질 또는 굴절률 분포를 가진 매질에 의해 구성되어 있는 것을 특징으로 하는 2차원 포토닉 결정면 발광레이저.

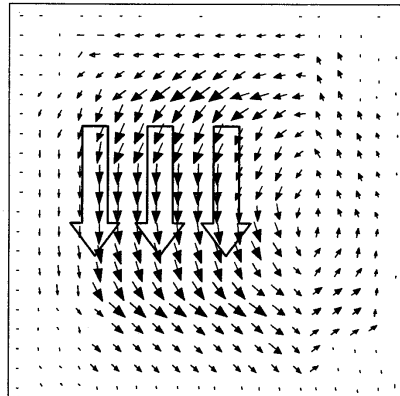
도면

도면1



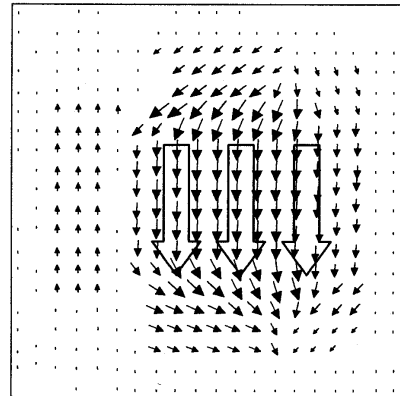
도면2

모드 I"



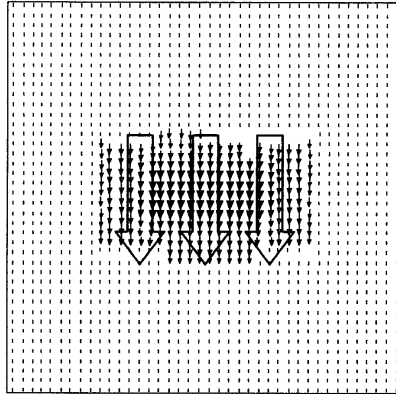
도면3

모드 II"



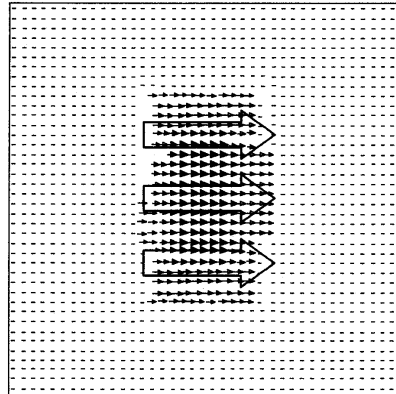
도면4

모드 III'

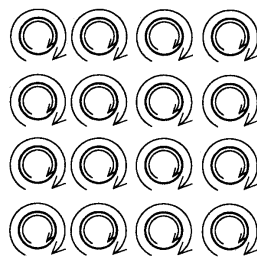


도면5

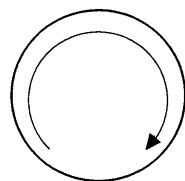
모드 IV'



도면6a

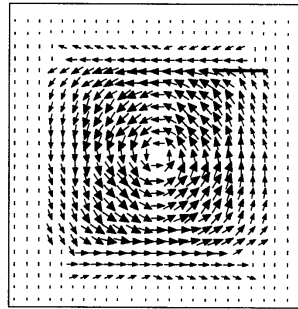


도면6b

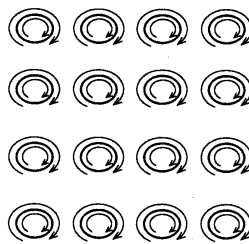


도면6c

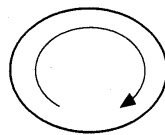
모드 I



도면7a

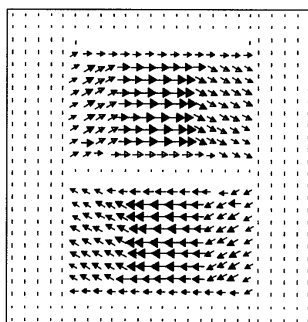


도면7b

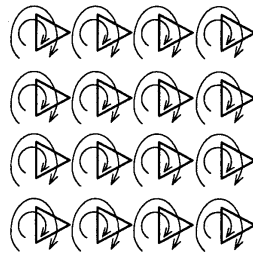


도면7c

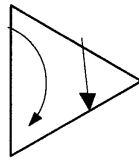
모드 I'



도면8a

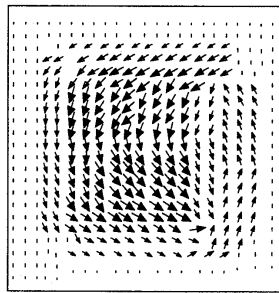


도면8b

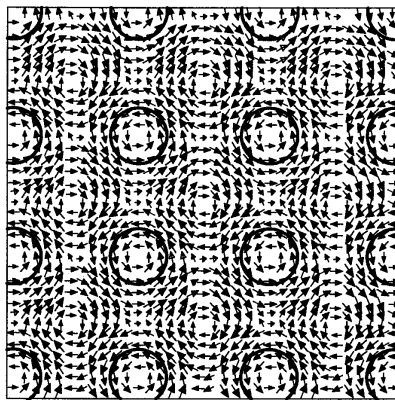


도면8c

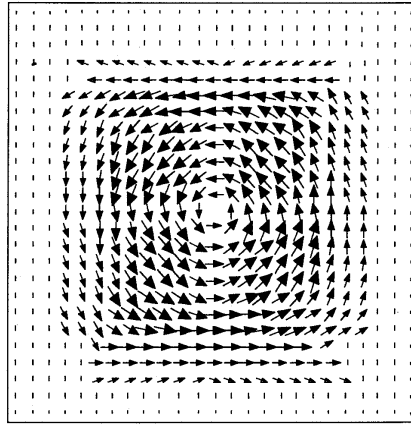
모드 I"



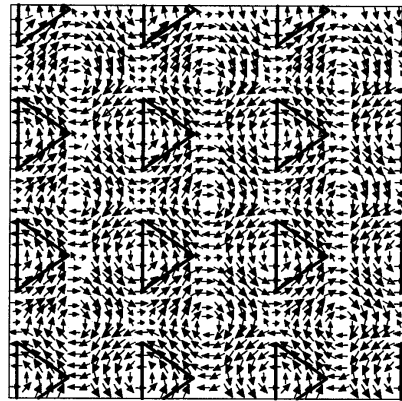
도면9a



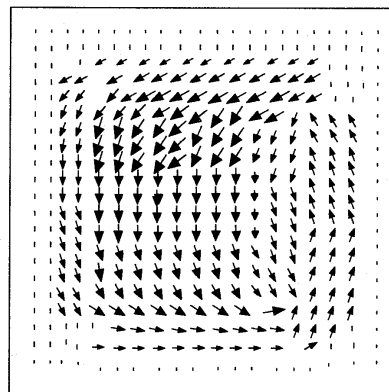
도면9b



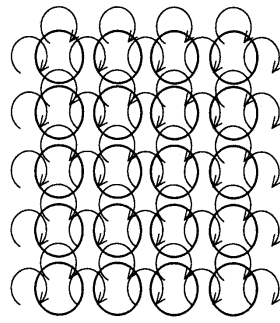
도면10a



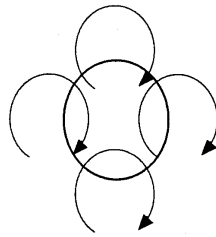
도면10b



도면11a

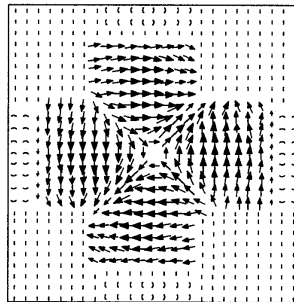


도면11b

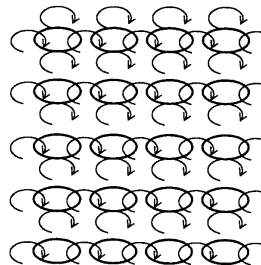


도면11c

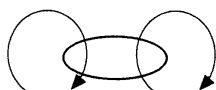
모드 II



도면12a

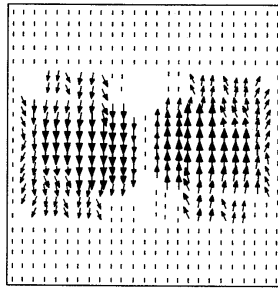


도면12b

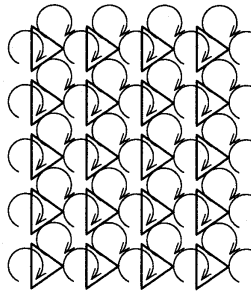


도면12c

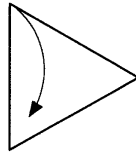
모드 II'



도면13a

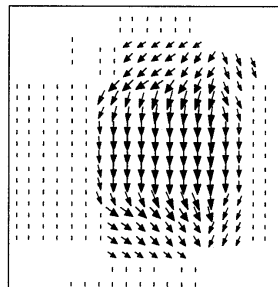


도면13b



도면13c

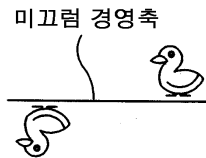
모드 II''



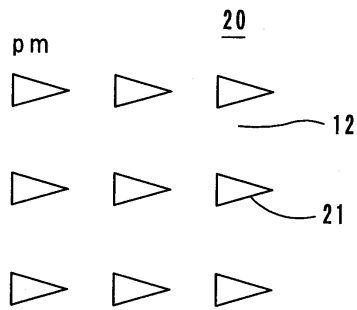
도면14a



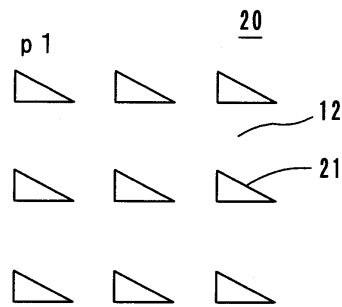
도면14b



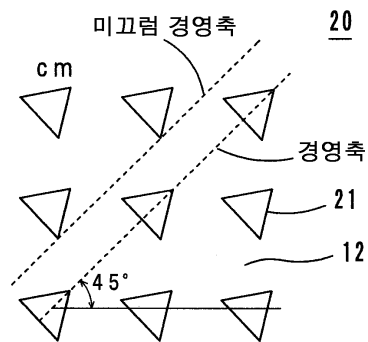
도면15



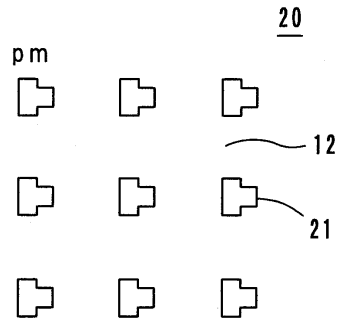
도면16



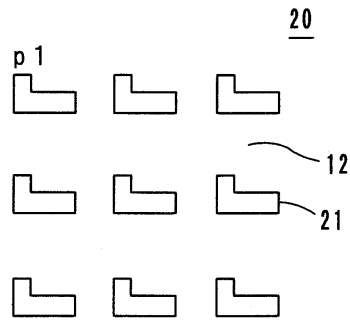
도면17



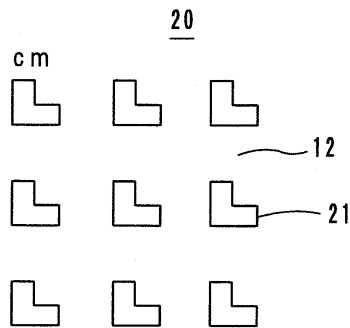
도면18



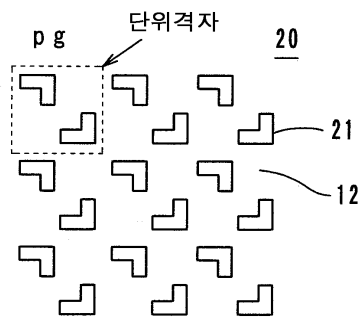
도면19



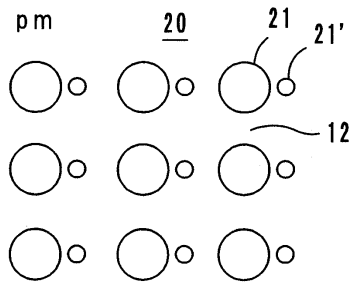
도면20



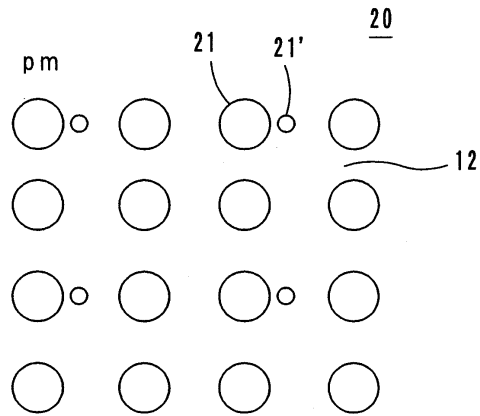
도면21



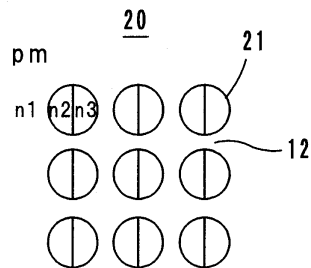
도면22



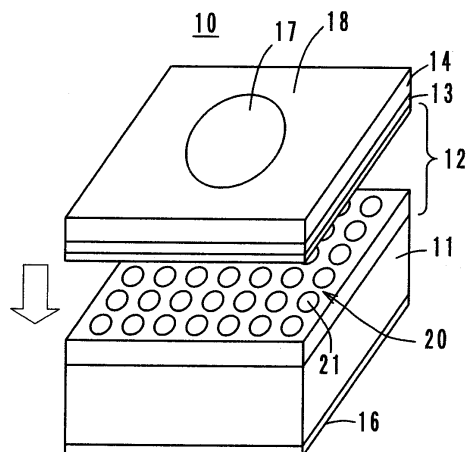
도면23



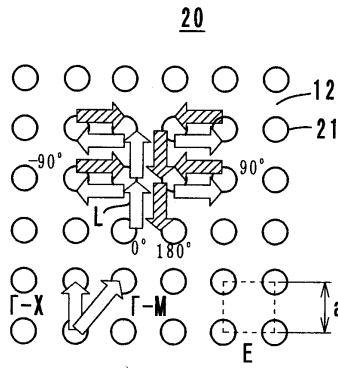
도면24



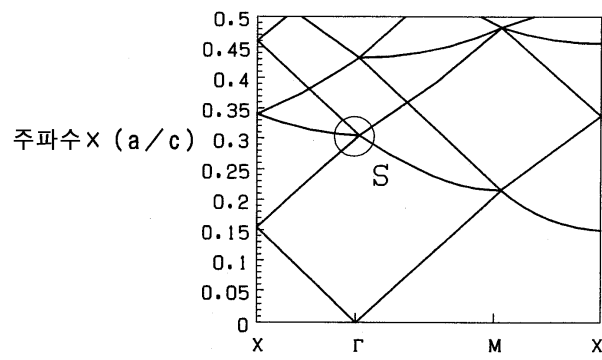
도면25



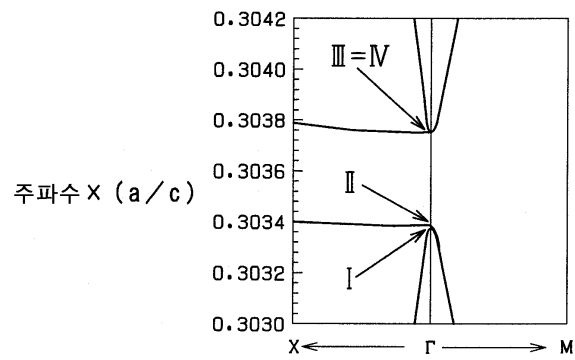
도면26



도면27

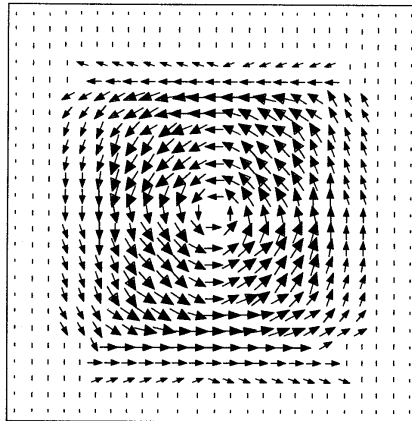


도면28



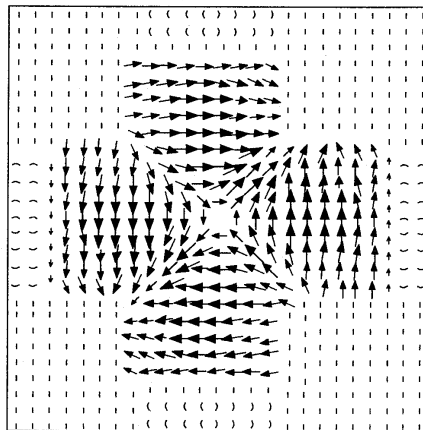
도면29

모드 I

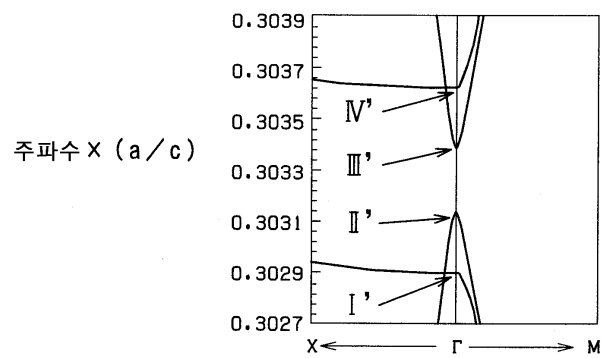


도면30

모드 II

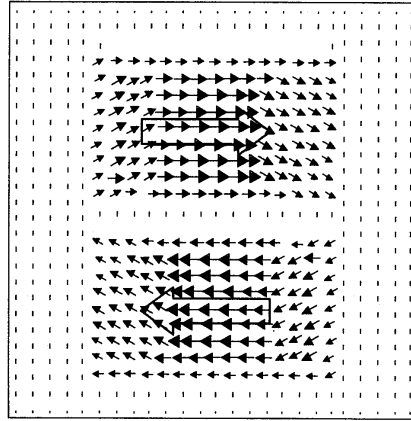


도면31

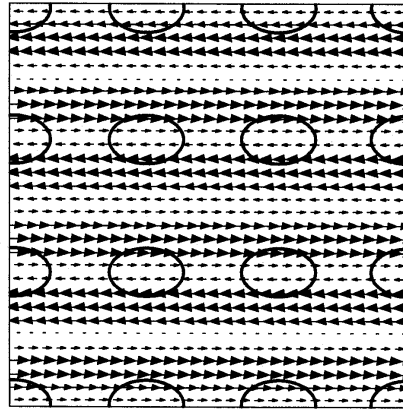


도면32a

모드 I'

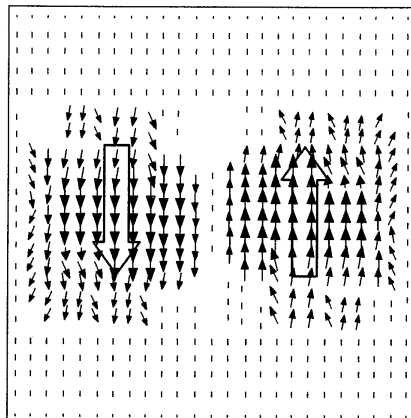


도면32b



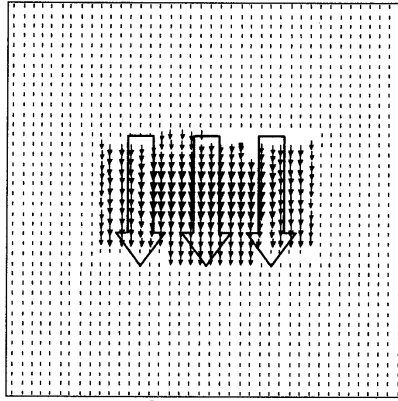
도면33

모드 II'



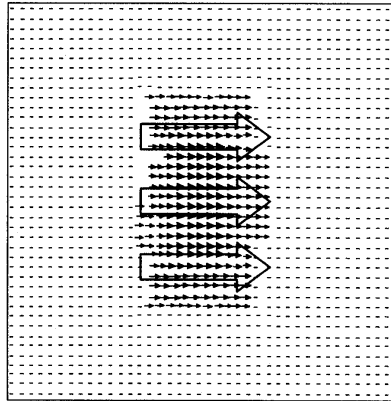
도면34

모드 III'



도면35a

모드 IV'



도면35b

