(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2022 년 1 월 20 일 (20.01.2022)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2022/015085 A1

(51) 국제특허분류:
H01S 5/10 (2006.01) *H01S 5/02* (2006.01)
H01S 5/323 (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2021/009132

(22) 국제출원일: 2021 년 7 월 15 일 (15.07.2021)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2020-0087789 2020 년 7 월 15 일 (15.07.2020) KR

(71) 출원인: 고려대학교 산학협력단 (**KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION**) [KR/KR]; 02841 서울시 성북구 안암로 145, Seoul (KR).

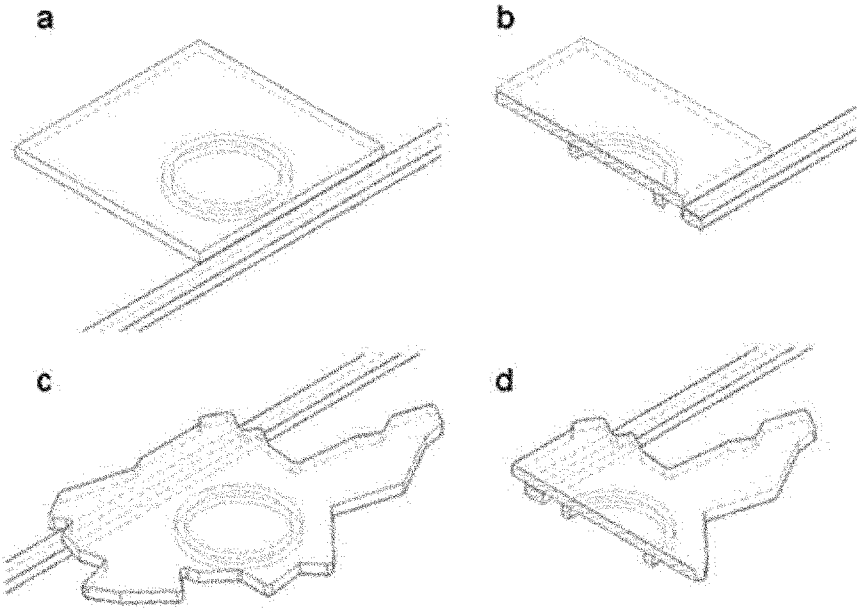
(72) 발명자: 김명기 (**KIM, Myung Ki**); 02826 서울시 성북구 아리랑로 89, 109동 803호, Seoul (KR). 김유신 (**KIM, Yu Shin**); 34899 대전시 중구 계백로1615번길 34, 113동 1806호, Daejeon (KR). 박병준 (**PARK, Byoung Jun**); 12552 경기도 양평군 양평읍 관문길 60, 101동 2006호, Gyeonggi-do (KR).

(74) 대리인: 특허법인 다나 (**DANA PATENT LAW FIRM**); 06242 서울시 강남구 역삼로 3길 11 광성빌딩 신관 5층, Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) **Title:** TRANSFER-PRINTED MICRO-PATCH LASERS FOR COUPLING OF OPTICAL INTEGRATED CIRCUIT

(54) **발명의 명칭:** 광 집적회로 결합을 위한 전사인쇄된 마이크로 패치 레이저



(57) **Abstract:** The present invention relates to a technique for efficiently realizing a micro-laser, which is an essential light source of an optical integrated circuit, by using a transfer printing technique. In the present invention, a laser can be realized by transfer-printing a sheet (III-V compound sheet) formed of a quantum-well semiconductor having an arbitrary shape onto a silicon structure including a cavity fabricated on a silicon substrate (wafer). Although a sheet itself is a simple structure that cannot trap light sufficient to make a laser, a structure in which the above sheet is transfer-printed on a silicon structure can act as a resonator sufficient to make a laser.

(57) **요약서:** 본 발명은 광 집적회로의 필수적인 광원인 마이크로 레이저를 전사인쇄 기술을 이용하여 효율적으로 구현하는 기술에 관한 것이다. 본 발명에서는 실리콘 기판(웨이퍼) 위에서 제작한 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 위에 임의의 모양을 갖는 양자우물 반도체로 만들어진 시트(III- V 화합물 시트) 를 전사인쇄하여 레이저를 구현할 수 있다. 시트 자체는 레이저를 만들기에 충분한 빛을 가둘 수 없는 간단한 구조이지만, 이를 실리콘 구조체 위에 전사인쇄한 구조체는 레이저를 만들기에 충분한 공진기로 동작할 수 있다.

WO 2022/015085 A1

[다음 쪽 계속]

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

명세서

발명의 명칭: 광 집적회로 결합을 위한 전사인쇄된 마이크로 패치 레이저

기술분야

[1] 본 발명은 광 집적회로의 필수적인 광원인 마이크로 레이저를 전사인쇄 기술을 이용하여 효율적으로 구현하는 기술에 관한 것이다.

[2]

배경기술

[3] 최근 광 기술에서 광 부품을 전자 집적회로인 IC칩처럼 작은 공간 내에 광 스윗칭, 연산 등을 목적으로 하는 광 부품을 집적시키는 광 집적회로 기술들이 빠르게 개발되고 있다.

[4] 이때의 광원은 내부의 집적회로에 쓸 수 있는 마이크로 크기의 레이저로서 이를 마이크로 레이저라고 한다. 마이크로 레이저는 반도체 레이저의 일종으로 두께가 수 마이크로 미터 이내이며 레이저 파장이 1-2 개의 파장을 가지며, 평면의 가로와 세로는 수십에서 수백 마이크로미터 크기의 넓은 디스크 형태의 레이저로, 평면으로 레이저가 발진한다.

[5] 기존의 마이크로 레이저들은 양자 우물 반도체를 III-V 물질로 사용하고, 이 물질을 주로 이용해 직접 공진기를 제작하는 방식을 주로 사용하였다. 이는 가장 직관적인 방식이며 양자 우물 반도체의 광 이득을 가장 효율적으로 이용하는 방법이다.

[6] 그러나, 상기 방법은 일반적인 실리콘 제작 공정보다 복잡하고 비싼 공정 과정을 거쳐야만 한다. 또한, 광 집적회로에 반도체 레이저를 구현하기 위해서는 실리콘 웨이퍼 위에 양자 우물 반도체를 플라즈마 접합 방식 등을 사용하여 접합한 후, 공진기 구조를 제작해야 한다. 전체 광 집적회로 중 광원인 마이크로 레이저가 차지하는 부피는 매우 작으므로, 이러한 방법은 레이저에 직접 사용되지 않는 양자 우물 반도체의 대부분 영역이 낭비되어 큰 비용 손실이 발생할 우려가 있다.

[7] 따라서, 마이크로 레이저를 제조하기 위한 새로운 방법을 필요로 한다.

[8]

발명의 상세한 설명

기술적 과제

[9] 본 발명은 광 집적회로의 필수적인 광원인 마이크로 레이저를 전사인쇄 기술을 이용하여 효율적으로 구현하는 기술을 제공하는 것을 목적으로 한다.

[10]

기술적 해결방법

[11] 본 발명은 빛을 가둘 수 있는 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체; 및

[12] 상기 실리콘 구조체 상에 형성되며, 상기 캐비티를 덮는 III-V 화합물 시트를 포함하는 마이크로 레이저를 제공한다.

[13]

[14] 또한, 본 발명은 (A) PDMS 스탬프에 III-V 화합물 시트를 부착시키는 단계;

[15] (B) 상기 PDMS 스탬프를 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 상에 얼라인시키는 단계;

[16] (C) 상기 PDMS 스탬프를 상기 실리콘 구조체의 캐비티를 덮도록 접촉시킨 후, 상기 III-V 화합물 시트를 실리콘 구조체 상에 전사시키는 단계; 및

[17] (D) 상기 PDMS 스탬프를 실리콘 구조체로부터 분리시키는 단계를 포함하는 마이크로 레이저의 제조 방법을 제공한다.

[18]

발명의 효과

[19] 본 발명에서는 실리콘 기판(웨이퍼) 위에서 제작한 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 위에 임의의 모양을 갖는 양자우물 반도체로 만들어진 시트(III-V 화합물 시트)를 전사인쇄하여 레이저를 구현할 수 있다. 시트 자체는 레이저를 만들기에 충분한 빛을 가둘 수 없는 간단한 구조이지만, 이를 실리콘 구조체 위에 전사인쇄한 구조체(즉, 마이크로 레이저)는 레이저를 만들기에 충분한 공진기로 동작할 수 있다.

[20] III-V 화합물 시트는 실리콘 구조체보다 크다면 어떠한 형태이든 레이저 구현이 가능하므로, 비싸고 복잡한 III-V 반도체의 공정을 최소화하여 마이크로 레이저를 제작할 수 있다. 또한, 레이저 구현을 위한 최소 크기의 패치만 전사시켜 레이저 구현이 가능하므로 III-V 반도체의 손실을 최소화할 수 있다. 또한, 레이저와 광 직접회로 제작의 자유도를 증가시키고 제작 단가를 낮출 수 있다. 또한, 적절한 III-V 화합물 시트 형태를 이용한다면 지향성 광 방출이나 주변 소자와의 결합효율 등을 제어할 수 있을 것으로 기대된다.

[21]

도면의 간단한 설명

[22] 도 1에서 (a) 및 (b)는 광 집적회로에 전사인쇄된 사각형 마이크로 패치 레이저와 그 단면도를 나타내고, (c) 및 (d)는 광 집적회로에 전사인쇄된 임의의 마이크로 패치 레이저와 그 단면도를 나타낸다.

[23] 도 2는 전사인쇄 공정을 나타내는 모식도이다.

[24] 도 3은 마이크로 레이저의 제작 과정을 나타내는 모식도로, (a)는 실리콘 구조체의 제작 과정, (b)는 III-V 화합물 시트의 제작 과정, (c)는 실리콘 구조체 위에 III-V화합물 시트를 전사하는 과정을 나타낸다.

[25] 도 4 및 5는 전사인쇄 공정을 통해 제조된 마이크로 레이저를 나타낸다.

[26] 도 6은 마이크로 레이저의 공진모드를 측정하기 위한 실험 측정 셋업 사진(a) 및 모식도(b)를 나타낸다.

[27] 도 7은 전사인쇄된 마이크로 패치 공진기의 공진모드로서, (a) 상면도 및 (b) 단면도를 나타낸다.

[28] 도 8 및 9는 마이크로 레이저의 이미지로, 도 8에서 a는 실리콘 구조체, b는 III-V 화합물 시트가 전사된 형태를 나타낸다. c는 약한 광 펌핑에서 나타나는 마이크로 레이저의 PL 이미지, d는 마이크로 레이저의 레이징 이미지를 나타낸다.

[29] 또한, 도 9는 다양한 모양의 III-V 화합물 시트가 전사된 형태에서의 마이크로 레이저의 PL 이미지 및 레이징 이미지를 나타낸다.

[30] 도 10은 제작된 마이크로 레이저의 광 펌핑 강도에 따른 스펙트럼과 L-L 곡선을 나타낸다.

[31] 도 11은 III-V 화합물 시트 구조의 높은 자유도를 나타낸다.

[32]

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[33] 본 발명은 빛을 가둘 수 있는 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체; 및

[34] 상기 실리콘 구조체 상에 형성되며, 상기 캐비티를 덮는 III-V 화합물 시트를 포함하는 마이크로 레이저에 관한 것이다.

[35] 종래 마이크로 레이저는 양자 우물 반도체로 III-V 화합물을 사용하고, 상기 화합물을 이용하여 직접 공진기를 제작하는 방식을 통해 제조되었으나, 이는 공정 난도가 높으며 단위면적당 단가가 높은 III-V 화합물을 효율적으로 사용하지 못한다는 단점을 가진다. 본 발명에서는 상기 문제점을 해결하여 광 직접회로에 미리 구현된 실리콘 구조체에 III-V 화합물 시트를 형성하여 마이크로 레이저를 구현할 수 있으며, 이를 통해 레이저의 제작 단가를 낮추고, 마이크로 레이저의 응용 가능성을 획기적으로 높일 수 있다.

[36]

[37] 이하, 본 발명에 따른 마이크로 레이저를 보다 상세하게 설명한다.

[38] 본 발명에서 "광 집적회로(PIC: photonic integrated circuit)"는 광 소자들을 모놀리딕(monolithic) 혹은 하이브리드(hybrid)로 집적화한 소자를 의미한다. 상기 광 직접소자는 광원으로서 본 발명에 따른 마이크로 레이저(마이크로 패치 레이저라 표현할 수 있다.)를 포함할 수 있다.

[39] 본 발명에 따른 마이크로 레이저는 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체; 및 상기 실리콘 구조체 상에 형성되며, 상기 캐비티를 덮는 III-V 화합물 시트를 포함한다.

[40] 본 발명에 따른 마이크로 레이저는 III-V 화합물 시트가 실리콘 구조체 상에 형성되어 레이저 발진을 위한 충분한 품위 값을 가질 수 있다.

[41] 본 발명에서 실리콘 구조체는 상기 구조체 내부에 캐비티가 형성되어 빛을 가둘 수 있으며, 공진기의 역할을 할 수 있다.

[42] 상기 공진기는 공진현상(특정 진동수를 가진 물체가 같은 진동수의 힘이

외부에서 가해질 때 진폭이 커지면서 에너지가 증가하는 현상)을 이용하여 특정 진동수의 전자기파나 빛을 일정 시간 동안 가두는 장치를 의미한다.

[43] 일 구체예에서, 캐비티의 형상은 빛을 가둘 수 있다면 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 원기둥의 구조를 가질 수 있다. 또한, 실리콘 구조체의 외부 형상 역시 특별히 제한되지 않으며, 캐비티의 형상과 동일하게 하여, 실리콘 구조체의 벽 두께를 일정하게 하는 것이 좋다.

[44] 일 구체예에서, 캐비티의 형상은 원기둥의 구조를 가질 수 있으며, 실리콘 구조체의 외부 형상도 원기둥의 구조를 가질 수 있다. 이 경우, 실리콘 구조체를 상면에서 보면 링(고리) 구조를 띄게 된다. 따라서, 본 발명에서는 실리콘 구조체를 링 공진기라 표현할 수 있다.

[45] 일 구체예에서, 실리콘 구조체는 마이크로 링을 포함한 임의의 폐곡선 구조를 가질 수 있으며, 곡률 반경의 변화가 급격하지 않는 외형을 가질 수 있다.

[46] 일 구체예에서, 실리콘 구조체의 벽 두께는 0.1 내지 1.55 um, 100 내지 1000 nm 또는 100 내지 300 nm일 수 있다. 상기 두께는 1540 nm 통신파장을 기준으로 할 수 있다. 상기 실리콘 구조체의 두께가 너무 얇으면 III-V 화합물 시트를 지지하기 어려울 뿐만 아니라, 실리콘 구조체와 III-V 화합물 시트의 계면에서 생기는 모드의 손실이 커질 우려가 있다. 또한, 두께가 1.55 um를 초과하면, gain 영역이 모드의 너무 끝단에 겹치게 되어 confinement factor(제한율)이 너무 낮아져 성능이 낮아질 우려가 있다.

[47] 또한, 캐비티의 크기는 1 내지 500 um, 1 내지 200 um 또는 1 내지 100 um일 수 있다. 이때, 캐비티의 크기는 상기 캐비티가 원기둥 구조일 경우 고리의 지름을 의미하며, 다른 구조일 경우 캐비티 바닥에서 중심을 지나는 직선 중 가장 긴 것의 길이를 의미할 수 있다. 상기 실리콘 구조체의 벽 두께 및 캐비티 크기에서 공진 현상이 우수하며, 광 집적회로에 적용 가능한 레이저의 발생이 가능하다. 또한, 본 발명에서는 목적하는 레이저 파장에 따라 상기 캐비티의 구조를 변화시킬 수 있다.

[48] 본 발명에서 III-V 화합물 시트는 공진기, 즉 실리콘 구조체 내부의 캐비티에 가둔 빛을 증폭시키는 역할을 수행한다.

[49] 상기 III-V 화합물 시트 자체는 광 이득을 가질 뿐 빛을 충분히 가두지 못하지만, 전술한 실리콘 구조체와 결합한 형태에서는 레이저에 사용되기에 충분할 만큼의 빛을 가둘 수 있다.

[50] 상기 III-V 화합물 시트는 전술한 실리콘 구조체를 덮도록 형성되어, 상기 실리콘 구조체가 공진기로서 작동하도록 할 수 있다.

[51] 일 구체예에서, III-V 화합물은 GaN, InN, AlN, AlGaN, InGaN, AlGaInN, GaAs 및 InGaAsP로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상을 포함할 수 있다.

[52] 일 구체예에서, III-V 화합물 시트의 두께는 0.01 내지 1.55 um, 100 내지 1000 nm 또는 100 내지 200 nm일 수 있다. 상기 두께는 1540 nm 통신파장을 기준으로 할 수 있다. 상기 III-V 화합물 시트의 두께가 1.55 um를 초과하면, 실리콘

구조체와 III-V 화합물 시트의 계면에서 생기는 모드가 III-V 화합물 시트로 손실이 크게 발생할 우려가 있다.

[53] 일 구체예에서, 실리콘 구조체의 벽 두께 및 III-V 화합물 시트의 두께의 합은 3 um 이하, 1 um 이하, 또는 500 nm이하일 수 있다. 상기 두께 범위에서 세로 방향으로 생기는 고차모드로 인한 손실을 최소화할 수 있다.

[54] 일 구체예에서, III-V 화합물 시트의 형태는 실리콘 구조체를 포함하는 크기를 가진다면 특별히 제한되지 않으며, 공정 편의상 사각형의 형태를 가질 수 있다. 시트의 형태에 무관하게 레이저의 구현이 가능하나, 적절한 시트의 모양은 레이저의 성능을 제어하는데 사용될 수 있다.

[55] 일 구체예에서, III-V 화합물 시트는 실리콘 구조체를 1/5 λ 이상 커버할 수 있다. 본 발명에서 X margin은 실리콘 구조체의 끝단과 III-V 화합물 시트의 끝단 사이 거리를 의미한다(도 11). 상기 1/5 λ 이상 커버할 경우, 즉, X margin이 1/5 λ 이상일 경우, 큰 손실 없이 공진모드가 유지될 수 있다. 이에 따라, 시트를 원하는 크기의 아일랜드 형태로 제작할 수 있으며, 낭비되는 III-V 화합물을 최소화할 수 있다. 상기 X margin은 1 λ 이상, 5 λ 이상, 10 λ 이상 또는 50 λ 이상일 수 있으며, 그 상한은 100 λ일 수 있다. 또한, 상기 X margin은 1540 nm 통신파장을 기준으로 0.3 um 이상, 1 um 이상, 10 um 이상 또는 50 um 이상일 수 있으며, 그 상한은 150 um일 수 있다.

[56] 일 구체예에서, 하나의 III-V 화합물 시트가 둘 이상의 실리콘 구조체 상에 형성될 수 있다.

[57] 본 발명에 따른 마이크로 레이저에서, III-V 화합물 시트가 형성된 실리콘 구조체 각각은 레이저로서 구동할 수 있다. 실리콘 구조체의 내부, 즉 캐비티 공간에 해당하는 영역 상의 III-V 화합물 시트는 레이저의 성능에 영향을 주지 않으며, 따라서, 시트에 구멍을 뚫거나 후술할 전사인쇄에 응용할 수 있도록 Align mark를 제조하는 것도 가능하다. 또한, 실리콘 구조체 바깥쪽 영역에 임의의 형태를 가공해도 레이저로서 동작할 수 있다.

[58] 본 발명에 따른 마이크로 레이저는 외부로부터 에너지를 흡수하여 레이저광을 발생시킬 수 있다.

[59] 본 발명에서 도 1은 본 발명의 일례에 따라 제조 가능한 마이크로 레이저의 도면(a 및 c) 및 단면도(b 및 d)를 나타낸다. 상기 도 1에서 도면 a의 단면도는 b이고, 도면 c의 단면도는 d이다.

[60] 상기 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명에 따른 마이크로 레이저는 실리콘 구조체를 III-V 화합물 시트가 덮는 구조를 가질 수 있으며, 시트의 모양은 제한되지 않음을 확인할 수 있다. 즉, 사각형 형태의 시트는 물론 임의의 형태를 가지는 시트 역시 레이저 발진이 가능하다.

[61] 본 발명에서 마이크로 레이저는 TM 모드(transverse magnetic mode)로 발진할 수 있다. TM 모드는 III-V 화합물 시트와 실리콘과 III-V 화합물 시트가 결합된 부분과의 유효굴절률 차이가 크기 때문에 작은 반경에도 적은 손실로 공진

모드를 형성할 수 있다.

[62] 일 구체예에서 마이크로 레이저의 제한율(Confinement factor)은 10 내지 40% 또는 15 내지 25%일 수 있다.

[63]

[64] 본 발명에 따른 마이크로 레이저는 다양한 분야에 응용될 수 있다. 예를 들면, 광원을 마이크로 레이저로 구현함으로써 초고속, 저전력화 및 소형화된 온칩형 포토닉 IC(On-chip photonic IC)를 제작할 수 있다. 또한, 마이크로 레이저를 광신호 전달 수단으로 사용하게 되면 고속의 데이터 전송이 가능해지며, 또한 고속으로 신호를 전달할 수 있고 발열문제를 해결할 수 있는 광학적 TSV(ThroughSilicon Via)를 실현할 수 있다. 그리고, 상기 마이크로 레이저는 CMOS와 호환될 수 있는 고정밀 및 고속의 광학적 클럭 소스(clock source)로도 응용될 수 있다.

[65]

[66] 또한, 본 발명은 전술한 마이크로 레이저의 제조 방법에 관한 것이다.

[67] 본 발명에 따른 마이크로 레이저의 제조 방법은 실리콘 구조체를 제조하는 단계; III-V 화합물 시트를 제조하는 단계; 및 상기 실리콘 구조체 상에 캐비티를 덮도록 III-V 화합물 시트를 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

[68] 본 발명에서는 전사인쇄 기술을 사용하여 마이크로 레이저를 제조할 수 있으며, III-V 화합물 시트의 형태에 상관없이 인쇄를 수행할 수 있다.

[69] 본 발명에서 도 2는 전사인쇄 기술을 나타내는 모식도이다. 전사인쇄 기술은 실리콘, III-V 화합물과 같이 격자상수가 서로 다른 물질을 열처리 없이 쉽게 전사할 수 있는 기술이다. 전사인쇄 기술의 가장 기본적인 원리는 서로 물질 간의 부착력의 차이를 이용하는 것이다. III-V 화합물과 Si 간의 부착력은 PDMS와 III-V 화합물 간의 부착력보다 더 크기 때문에, PDMS, III-V, Si 순으로 나란히 부착되었을 때 수직방향 힘을 가함으로써 상기 PDMS 만을 쉽게 떼어낼 수 있다. 상기 원리를 이용하여, III-V 화합물이 접착된 PDMS 스탬프를 실리콘 광집적회로 위 전사하려는 곳으로 이동·결합한 후, PDMS 스탬프를 떼어냄으로써 III-V 화합물만을 회로 위에 전사할 수 있다. 즉, 전사인쇄 기술을 통해 마이크로미터 이하 수준의 정확도로 III-V 화합물 시트를 원하는 곳에 전사할 수 있다.

[70] 구체적으로 본 발명에 따른 제조 방법은 (A) PDMS 스탬프에 III-V 화합물 시트를 부착시키는 단계;

[71] (B) 상기 PDMS 스탬프를 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 상에 얼라인시키는 단계;

[72] (C) 상기 PDMS 스탬프를 상기 실리콘 구조체의 캐비티를 덮도록 접촉시킨 후, 상기 III-V 화합물 시트를 실리콘 구조체 상에 전사시키는 단계; 및

[73] (D) 상기 PDMS 스탬프를 실리콘 구조체로부터 분리시키는 단계를 포함할 수 있다.

[74] 일 구체예에서, 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체는 (a) 실리콘(Si)을 포함하는 기판 상에 전자빔 레지스트를 형성하는 단계;

[75] (b) 상기 전자빔 레지스트를 패터닝하여 기초 패턴을 형성하는 단계;

[76] (c) 상기 기초 패턴이 형성된 실리콘을 포함하는 기판을 에칭하여 캐비티가 형성된 본 패턴을 형성하는 단계; 및

[77] (d) 전자빔 레지스트를 제거하는 단계를 통해 제조될 수 있다.

[78] 단계 (a)는 실리콘(Si)을 포함하는 기판 상에 전자빔 레지스트를 형성하는 단계이다.

[79] 일 구체예에서 실리콘을 포함하는 기판의 종류는 실리콘을 포함한다면 특별히 제한되지 않으며, 본 발명에서는 SOI 기판(웨이퍼)을 사용할 수 있다. 구체적으로, 본 발명에서는 광 집적회로에 사용되는 SOI 기판 상에 실리콘 구조체를 직접 형성함으로써 공정을 간소화할 수 있다.

[80] 일 구체예에서, 전자빔 레지스트는 높은 전자빔 흡수율을 가지며, 본 발명에서는 전자빔 레지스트로 폴리메틸메싸크릴레이트(PMMA, Poly methyl methacrylate), 메틸스티렌-co-알파클로로메타크릴레이트(ZEP, methylstyrene-co-alphachloromethacrylate), 수소-실세스퀴옥산(HSQ, hydrogen silsesquioxane), SML 및 AR-P로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상을 사용할 수 있다. 상기 전자빔 레지스트의 형성은 당업계의 일반적인 방법을 사용하여 수행할 수 있다.

[81] 단계 (b)는 전자빔 레지스트를 패터닝하여 기초 패턴을 형성하는 단계이다.

[82] 일 구체예에서, 전자빔 레지스트의 패터닝은 E-빔(electron beam)을 사용하여 수행할 수 있다. 구체적으로, E-빔을 직접 원하는 모양대로 전자빔 레지스트가 형성된 기판에 조사하여 패턴을 형성할 수 있다. 상기 E-빔의 조사는 당업계의 일반적인 방법에 따라 수행될 수 있다.

[83] 일 구체예에서, 상기 E-빔 조사에 의해 형성된 기초 패턴은 본 패턴의 제조 시 마스크로서 사용될 수 있다.

[84] 단계 (c)는 전술한 단계 (b)에서 기초 패턴이 형성된 실리콘을 포함하는 기판을 에칭하여 캐비티가 형성된 본 패턴을 형성하는 단계이다.

[85] 일 구체예에서, 기판의 에칭은 RIE 에칭을 사용하여 수행할 수 있다. RIE 에칭은 반응성 이온 에칭(Reactive Ion Etching)으로 미세 가공에 사용되는 건식 에칭 방법이다. 상기 RIE 에칭에서는 화학적 반응성 플라즈마를 사용하여 웨이퍼에 증착된 물질을 제거할 수 있다. 구체적으로, 본 발명에서는 기초 패턴이 형성된 기판에 RIE 에칭을 수행하여 기판 중의 규소층을 패턴화할 수 있다. 상기 RIE 에칭은 당업계의 일반적인 방법에 따라 수행될 수 있다.

[86] 일 구체예에서, RIE 에칭에 의해 본 패턴이 형성되며, 상기 본 패턴은 캐비티가 형성된 실리콘 구조체의 구성을 가질 수 있다.

[87] 단계 (d)는 전자빔 레지스트를 제거하는 단계이다.

[88] 상기 전자빔 레지스트의 제거는 당업계의 일반적인 방법에 따라 수행될 수

있다.

[89] 본 발명에서 III-V 화합물 시트는 (s1) 반도체 웨이퍼 상에 전자빔 레지스트를 형성하는 단계;

[90] (s2) 상기 전자빔 레지스트를 패터닝하여 기초패턴을 형성하는 단계;

[91] (s3) 상기 기초 패턴이 형성된 반도체를 에칭하여 본패턴을 형성하는 단계; 및

[92] (s4) 전자빔 레지스트를 제거하는 단계를 통해 제조될 수 있다.

[93] 단계 (s1)은 반도체 웨이퍼 상에 전자빔 레지스트를 형성하는 단계이다.

[94] 본 발명에서 반도체 웨이퍼는 III-V 화합물을 포함한다면 특별히 제한되지 않으며, 구체적으로 InP/InAlAs(또는 InGaAs)/InP/InGaAsP의 층 구조를 가질 수 있다.

[95] 일 구체예에서, 전자빔 레지스트는 높은 전자빔 흡수율을 가지며, 본 발명에서는 전자빔 레지스트로 PMMA(polymethylmethacrylate)를 사용할 수 있다. 상기 전자빔 레지스트의 형성은 당업계의 일반적인 방법을 사용하여 수행할 수 있다.

[96] 단계 (s2)는 전자빔 레지스트를 패터닝하여 기초패턴을 형성하는 단계이다.

[97] 일 구체예에서, 전자빔 레지스트의 패터닝은 E-빔(electron beam)을 사용하여 수행할 수 있다. 구체적으로, E-빔을 직접 원하는 모양대로 전자빔 레지스트가 형성된 기판에 조사하여 패턴을 형성할 수 있다. 상기 E-빔의 조사는 당업계의 일반적인 방법에 따라 수행될 수 있다.

[98] 일 구체예에서, 상기 E-빔 조사에 의해 형성된 기초 패턴은 본 패턴의 제조 시 마스크로서 사용될 수 있다.

[99] 단계 (s3)는 전술한 단계 (s2)에서 기초 패턴이 형성된 반도체를 에칭하여 본 패턴을 형성하는 단계이다. 상기 단계에서는 CAIBE 에칭을 이용하여 본 패턴을 형성할 수 있으며, 또한 습식(wet) 에칭을 사용하여 본 패턴 하부를 식각함으로써 상기 제조된 본 패턴의 전사를 용이하게 할 수 있다.

[100] 일 구체예에서, CAIBE 에칭을 수행하여 본 패턴을 형성할 수 있다. 상기 CAIBE 에칭은 화학 보조 이온빔 에칭(Chemical Assistant Ion Beam Etching)으로, 건식 에칭 방법이다. 상기 CAIBE 에칭은 Ar 등과 같은 비활성 기체(Inert Gas)를 반응성(혹은 활성) 기체(Reactive Gas)로 변환하여 이때 형성된 Ar^+를 이온빔으로 쏘아주는 물리적인 방식과 Cl_2와 같은 할로겐 분자를 첨가하여 기판과 반응하는 화학적 방식(화학 보조 방식)이 결합된 방식이다. 이러한 건식 에칭은 ICP-RIE(Inductively couupled plasma - reactive-ion etching)와 같이 당업계의 일반적인 방법에 따라 수행될 수 있다.

[101] 일 구체에에서, CAIBE 에칭에 의해 본 패턴이 형성되며, 상기 본 패턴은 시트 형태를 가질 수 있다.

[102] 또한, 일 구체예에서, CAIBE 에칭을 수행한 후 습식(wet) 에칭을 수행할 수 있다. 습식 에칭은 당업계의 일반적인 방법에 따라 수행될 수 있다. 상기 에칭을 통해 본 패턴의 하부층이 식각되어 후술한 시트의 전이가 용이하게 수행될 수

있다.

[103] 일 구체예에서, 식각시 본 패턴의 하부층에 하나 이상의 테더(thther)를 형성하여 본 패턴의 구조를 유지시킬 수 있다.

[104] 단계 (s4)는 전자빔 레지스트를 제거하는 단계이다.

[105] 상기 전자빔 레지스트의 제거는 당업계의 일반적인 방법에 따라 수행될 수 있다.

[106] 본 발명에서 단계 (A)는 PDMS 스탬프에 III-V 화합물 시트를 부착시키는 단계이다.

[107] 일 구체예에서, PDMS 스탬프는 III-V 화합물 시트와 접촉하는 면이 PDMS(polydimethylsiloxane)로 구성되며, 반데르발스 힘을 이용하여 III-V 화합물 시트를 실리콘 구조체 상에 전사시킬 수 있다.

[108] 일 구체예에서, 상기 단계에서는 전술한 III-V 화합물 시트의 제조 방법에 의해 제조된 III-V 화합물 시트 상에 PDMS 스탬프를 얼라인시키고, 상기 III-V 화합물 시트 및 PDMS 스탬프를 접촉시키켜, 상기 PDMS 스탬프에 III-V 화합물 시트를 부착시킬 수 있다.

[109] 단계 (B)는 III-V 화합물 시트가 부착된 스탬프를 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 상에 얼라인시키는 단계이다.

[110] 상기 단계에서는 III-V 화합물 시트가 실리콘 구조체의 캐비티를 덮을 수 있도록 얼라인 시킬 수 있다.

[111] 단계 (C)는 III-V 화합물 시트가 부착된 스탬프를 상기 실리콘 구조체의 캐비티를 덮도록 접촉시키는 단계이다.

[112] III-V 화합물과 Si 간의 부착력은 PDMS와 III-V 화합물 간의 부착력보다 더 크다. 따라서, III-V 화합물 시트가 부착된 PDMS 스탬프를 실리콘에 접촉시키면, III-V 화합물 시트/PDMS/실리콘(Si)의 구조가 되고, III-V 화합물과 Si 간의 부착력이 우수하므로, III-V 화합물 시트는 실리콘 상에 전사될 수 있다.

[113] 단계 (D)는 스탬프를 실리콘 구조체로부터 분리시키는 단계이다.

[114] 상기 단계에서 실리콘 구조체로부터 PDMS 스탬프를 떼어내면 III-V 화합물 시트는 실리콘 구조체에 부착된 상태로 존재하고 스탬프만 분리된다.

[115] 이를 통해 마이크로 레이저를 제조할 수 있다.

[116] 본 발명에서는 전술한 방법으로 간단한 공정으로 마이크로 레이저를 제조할 수 있다. 구체적으로, 본 발명에서는 마이크로 레이저를 공정 난도가 높으며 단위면적당 단가가 높은 양자 우물 반도체로만 레이저를 제작하지 않고, 광 집적회로에 미리 구현된 실리콘 구조체(링 공진기)에 III-V 화합물 시트를 전사인쇄하여 레이저를 구현할 수 있다. 따라서, 레이저의 제작 단가가 낮으며, 응용 가능성을 획기적으로 높일 수 있다.

[117]

발명의 실시를 위한 형태

[118] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다.

[119]

[120] 실시예

[121] **실시예 1. 마이크로 레이저 제조**

[122] 본 발명에서 마이크로 레이저는 도 3에 개시된 모식도의 과정과 같이 제작하였다.

[123]

[124] **(1) 실리콘 구조체 제작**

[125] SOI 기판(wafer) 상에 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체를 제작하였다.

[126] 먼저, SOI 웨이퍼(Si/SiO2/Si, 각각의 두께는 0.22/3/625 um) 상에 ~ 300 nm 두께의 PMMA 층을 코팅하였다. E-빔(beam)을 사용하여 상기 PMMA 층에 조사하여 PMMA 고분자들을 저분자로 전환시켰으며, 이후 현상액으로 저분자 부분을 녹여서 기초 패턴을 형성하였다. 남은 PMMA층이 마스크 역할을 하고, RIE 식각(etching)을 수행하여 마이크로 링 캐비티가 형성될 본 패턴을 형성하였다. PMMA 층을 제거하여 캐비티를 포함한 실리콘 구조체를 완성하였다.

[127]

[128] **(2) III-V 화합물 시트 제작**

[129] III-V 기판(wafer) 상에 III-V 화합물 시트를 제작하였다.

[130] 먼저, III-V 기판(InP/InAlAs(or InGaAs)/InP/InGaAsP) 상에 PMMA 층을 코팅하였다. E-빔(beam)을 사용하여 상기 PMMA 층을 패터닝하여 기초 패턴을 형성하였다. CAIBE 에칭(etching)을 이용하여 본 패턴을 형성하였다. 습식 에칭(wet etching)을 이용하여 본 패턴이 용이하게 탈착될 수 있도록 InP 층을 식각하였다. 그 후, PMMA 층을 제거하였다.

[131]

[132] **(3) 마이크로 레이저 제조**

[133] III-V 화합물 시트 및 PDMS 스탬프를 얼라인시켰다.

[134] 상기 PDMS 스탬프에 III-V 화합물 시트를 부착시켰다.

[135] 상기 스탬프를 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 상에 얼라인시켰다.

[136] 상기 스탬프를 상기 실리콘 구조체의 캐비티를 덮도록 접촉시킨 후, 상기 III-V 화합물 시트를 실리콘 구조체 상에 전사시켰다.

[137] 스탬프를 실리콘 구조체로부터 분리시켰다.

[138]

[139] 도 4 및 5는 본 발명의 실시예에 따라 제조된 마이크로 레이저를 나타낸다. 상기 도 4 및 5에 나타난 바와 같이, 다양한 III-V 화합물 시트가 전사된 마이크로 레이저를 제조할 수 있으며, 상기 시트의 중심과 캐비티의 중심 차이가 많이 나는 구조에서도 레이저가 발진될 수 있다.

[140]

[141] **실험예 1. 마이크로 레이저의 공진모드 측정**

[142] **(1) 방법**

[143] 도 6은 마이크로 레이저의 공진모드를 측정하기 위한 실험 측정 셋업 사진 및 모식도를 나타낸 것으로, 마이크로 레이저의 공진모드는 상기 셋업 장지에서 측정되었다.

[144] 구체적으로, 마이크로 패치 레이저의 레이저 공진 모드를 측정하기 위해서 NIR(near Infrared) 반사 측정 장비를 사용했다. 대물렌즈는 0.65 NA의 50 배율 렌즈(Olympus LCPLN50XIR)를 사용했다. 980 nm 파장의 레이저를 1 MHz 펄스 반복 주파수에 50 ns 펄스 폭의 조건으로 패치 레이저 공진모드에 조사하여 펌핑레이저로 사용하였다. 제작된 레이저는 980 nm 파장의 펌프 빔을 흡수하여 1500 nm 근처에서 레이저를 발진시키며, 발진된 레이저 광은 다시 대물렌즈를 통해 NIR CCD(320HX-1.7RT) 촬상소자 면 위에 이미지가 형성되도록 하였다. 대물렌즈를 통과한 레이저 이미지는 빔 스플리터를 통해 절반은 NIR CCD(320HX-1.7RT)로 보내져 레이징 이미지를 측정하였으며, 나머지 절반은 스펙트럼 측정을 위해 모노크로미터(DigiKrom DK480 1/2 meter)로 보내진다. 모노크로미터를 통해서 나온 단색광을 fW NIR Detector을 이용하여 세기를 측정하여 레이저의 스펙트럼을 얻었다.

[145]

[146] **(2) 결과**

[147] 공진모드의 측정 결과를 도 7에 나타내었다.

[148] 도 7은 실시예 1에서 제조된 마이크로 레이저(실리콘 구조체의 직경보다 2 배 큰 사각형 III-V 화합물 시트를 전사했을 경우)에서 생기는 공진모드의 시뮬레이션 결과를 나타낸 것으로,

[149] 구체적으로, 왼쪽 사진은 시트의 중간 높이에 해당하는 절단면에서 공진모드의 전기장 세기를 도시한 것이다. 오른쪽 사진은 실리콘 구조체의 중간점을 지나는 세로 절단면에서 공진모드의 전기장 세기를 도시한 것이다. 붉은선은 시트에 해당하는 영역을 나타낸 것으로 동일 매질이 연속되어 분포한 영역에서도 아랫면에 부착된 실리콘 구조체에 의해 빛이 효과적으로 집속됨을 알 수 있다.

[150]

[151] **실험예 2. 광 펌핑 결과 측정**

[152] **(1) 방법**

[153] 실험예 1 에서 사용한 측정 장비에서 레이저에 입사시키는 펌프 빔의 세기를

조절하여 광 펌핑 정도에 따른 레이저의 특성을 측정하였다. 펌프 레이저의 출력은 펌프 레이저의 발진을 위해 가해지는 직류 전압의 크기를 0~5V 사이로 조절하였다. 이때 가해진 전압의 크기에 비례하여 출력 레이저의 세기가 결정되며 1 MHz 펄스 반복 주파수에 50 ns 펄스 폭의 조건은 동일하게 유지하였다. 이 외의 측정방법은 실험예 1과 동일하다. 마이크로 패치 레이저의 레이저 공진 모드를 측정하기 위해서 NIR(near Infrared) 반사 측정 장비를 사용했다. 대물렌즈는 0.65 NA의 50 배율 렌즈(Olympus LCPLN50XIR)를 사용했다. 980 nm 파장의 레이저를 1 MHz 펄스 반복 주파수에 50 ns 펄스 폭의 조건으로 패치 레이저 공진모드에 조사하여 펌핑레이저로 사용하였다. 이때 반사되는 이미지에서 패치 레이저의 레이징 이미지를 NIR CCD(320HX-1.7RT)를 이용하여 관측하였다. 이미지를 관측함과 동시에 레이저의 스펙트럼은 모노크로미터(DigiKrom DK480 1/2 meter)를 통해서 나온 단색광을 fW NIR Detector를 통해서 측정할 수 있다.

[154]

[155] **(2) 결과**

[156] 광 펌핑 결과를 도 8 및 9에 나타내었다.

[157] 먼저, 도 8에서 a 및 b는 실시예 1에서 제조된 실리콘 구조체 및 마이크로 레이저를 나타낸다.

[158] 또한, c 및 d를 마이크로 레이저에 광 펌핑을 가해준 결과를 측정한 것이다. 구체적으로 c는 약한 광 펌핑에서 나타나는 마이크로 레이저의 PL 이미지로 마이크로 레이저에 광 펌핑을 가해주면 시트 아래쪽의 실리콘 구조체가 광학 모드 형성에 기여함을 확인할 수 있다. 그리고, d는 마이크로 레이저의 레이징 이미지로, 충분한 광 펌핑이 가해지면 d와 같이 레이징이 일어남을 확인할 수 있다.

[159] 또한, 도 9는 다양한 모양의 III-V 화합물 시트가 전사된 형태에서의 마이크로 레이저의 PL 이미지 및 레이징 이미지를 나타낸다. 도 5와 같은 다양한 III-V 화합물 시트가 전사된 마이크로 레이저, 및 시트의 중심과 캐비티의 중심 차이가 많이 나는 구조에서도 레이징이 일어날 수 있다.

[160]

[161] 한편, 도 10은 마이크로 레이저의 광 펌핑 강도에 따른 스펙트럼과 L-L 곡선을 나타낸다.

[162] 즉, 도 10은 마이크로 레이저에서 측정된 레이저의 특성을 나타낸다. 상기 도 10에 나타난 바와 같이, 스펙트럼의 확인 결과 약 0.3 nm 의 FWHM을 갖는 레이징이 관측되었으며, 광펌핑 강도에 따른 출력을 나타내는 L-L 곡선에서도 Threshold 이상에서 선형으로 출력이 증가하는 레이저의 특성을 보임을 확인할 수 있다.

[163]

산업상 이용가능성

[164] 본 발명에서는 실리콘 기판(웨이퍼) 위에서 제작한 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 위에 임의의 모양을 갖는 양자우물 반도체로 만들어진 시트(III-V 화합물 시트)를 전사인쇄하여 레이저를 구현할 수 있다. 시트 자체는 레이저를 만들기에 충분한 빛을 가둘 수 없는 간단한 구조이지만, 이를 실리콘 구조체 위에 전사인쇄한 구조체(즉, 마이크로 레이저)는 레이저를 만들기에 충분한 공진기로 동작할 수 있다.

청구범위

[청구항 1] 빛을 가둘 수 있는 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체; 및
상기 실리콘 구조체 상에 형성되며, 상기 캐비티를 덮는 III-V 화합물 시트를 포함하는 마이크로 레이저.

[청구항 2] 제 1 항에 있어서,
실리콘 구조체의 벽 두께는 0.1 내지 1.55 um인 것인 마이크로 레이저.

[청구항 3] 제 1 항에 있어서,
실리콘 구조체의 벽 두께는 100 내지 300 nm인 것인 마이크로 레이저.

[청구항 4] 제 1 항에 있어서,
캐비티의 크기는 1 내지 500 um인 것인 마이크로 레이저.

[청구항 5] 제 1 항에 있어서,
III-V 화합물은 GaN, InN, AlN, AlGaN, InGaN, AlGaInN, GaAs 및 InGaAsP으로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상을 포함하는 것인 마이크로 레이저.

[청구항 6] 제 1 항에 있어서,
III-V 화합물 시트의 두께는 0.01 내지 1.55 um인 것인 마이크로 레이저.

[청구항 7] 제 1 항에 있어서,
III-V 화합물 시트의 두께는 100 내지 200 nm인 것인 마이크로 레이저.

[청구항 8] 제 1 항에 있어서,
X margin은 1/5 λ 이상인 것인 마이크로 레이저.

[청구항 9] 제 1 항에 있어서,
TM 모드(Transverse magnetic mode)로 발진하는 것인 마이크로 레이저.

[청구항 10] (A) PDMS 스탬프에 III-V 화합물 시트를 부착시키는 단계;
(B) 상기 PDMS 스탬프를 캐비티를 포함하는 실리콘 구조체 상에 얼라인시키는 단계;
(C) 상기 PDMS 스탬프를 상기 실리콘 구조체의 캐비티를 덮도록 접촉시킨 후, 상기 III-V 화합물 시트를 실리콘 구조체 상에 전사시키는 단계; 및
(D) PDMS 스탬프를 실리콘 구조체로부터 분리시키는 단계를 포함하는 마이크로 레이저의 제조 방법.

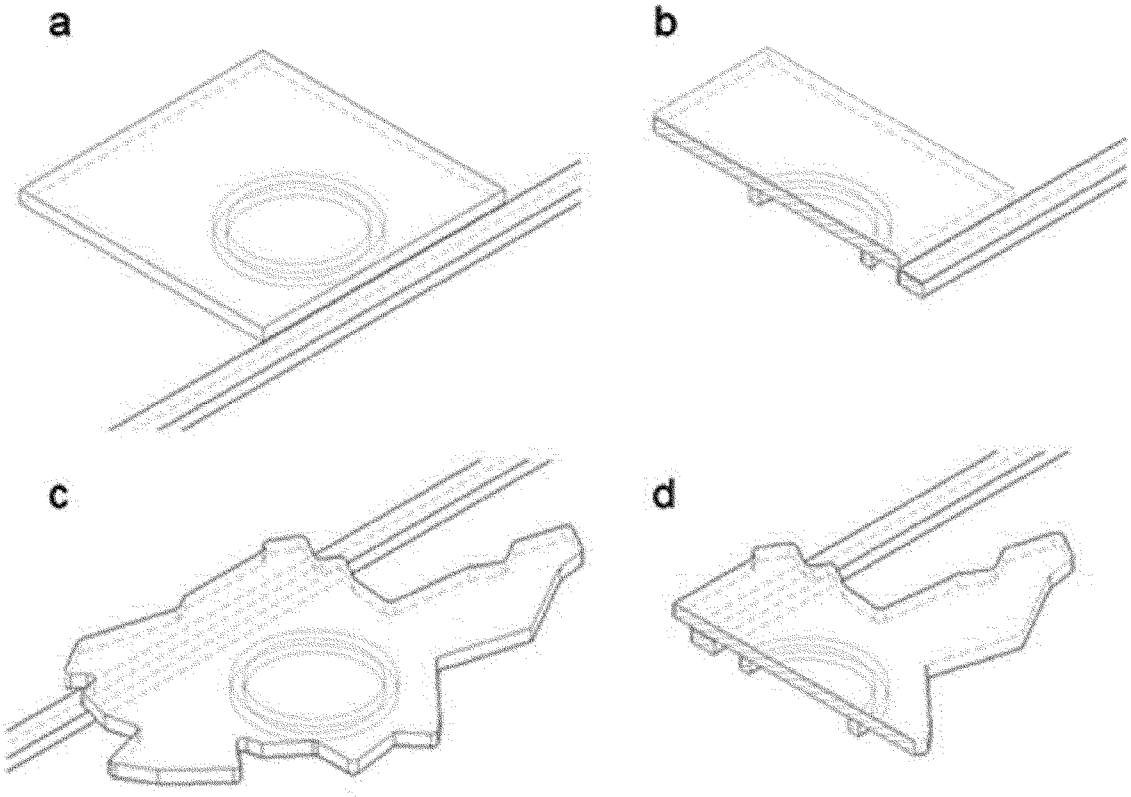
[청구항 11] 제 10 항에 있어서,
캐비티를 포함하는 실리콘 구조체는 (a) 실리콘(Si)을 포함하는 기판 상에 전자 빔 레지스트를 형성하는 단계;
(b) 상기 전자 빔 레지스트를 패터닝하여 기초 패턴을 형성하는 단계;
(c) 상기 기초 패턴이 형성된 실리콘을 포함하는 기판을 에칭하여 캐비티가 형성된 본 패턴을 형성하는 단계; 및
(d) 전자 빔 레지스트를 제거하는 단계를 통해 제조되는 것인 마이크로

레이저의 제조 방법.

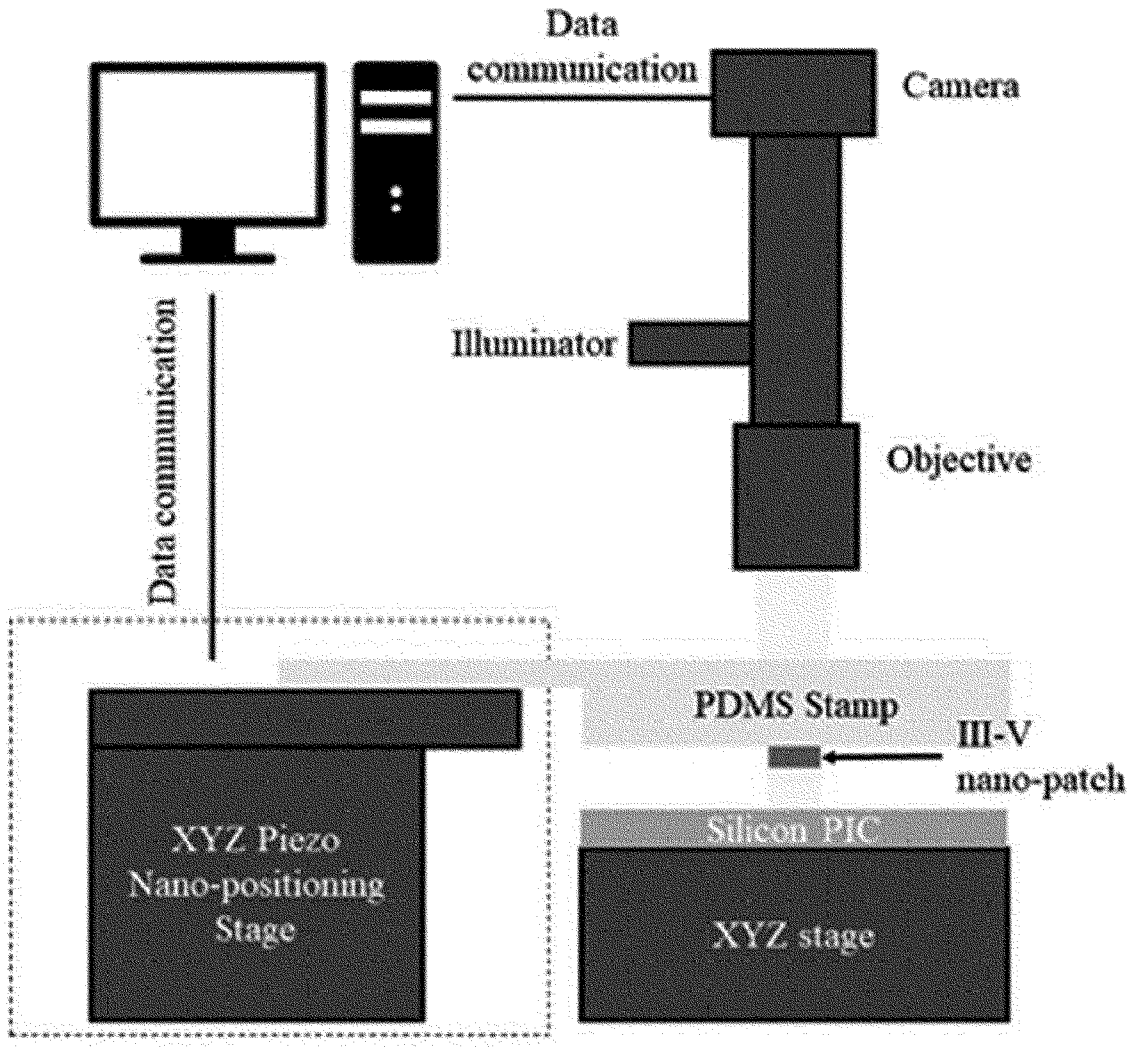
[청구항 12] 제 11 항에 있어서,
전자 빔 레지스트는 폴리메틸메싸크릴레이트(PMMA, Poly methyl methacrylate), 메틸스티렌-co-알파클로로메타크릴레이트(ZEP, methylstyrene-co-alphachloromethacrylate), 수소-실세스퀴옥산(HSQ, hydrogen silsesquioxane), SML 및 AR-P로 이루어진 그룹으로부터 선택된 하나 이상을 포함하는 것인 마이크로 레이저의 제조 방법.

[청구항 13] 제 10 항에 있어서,
III-V 화합물 시트는 (s1) 반도체 웨이퍼 상에 전자 빔 레지스트를 형성하는 단계;
(s2) 상기 전자 빔 레지스트를 패터닝하여 기초패턴을 형성하는 단계;
(s3) 상기 기초 패턴이 형성된 반도체를 에칭하여 본패턴을 형성하는 단계; 및
(s4) 전자 빔 레지스트를 제거하는 단계를 통해 제조되는 것인 마이크로 레이저의 제조 방법.

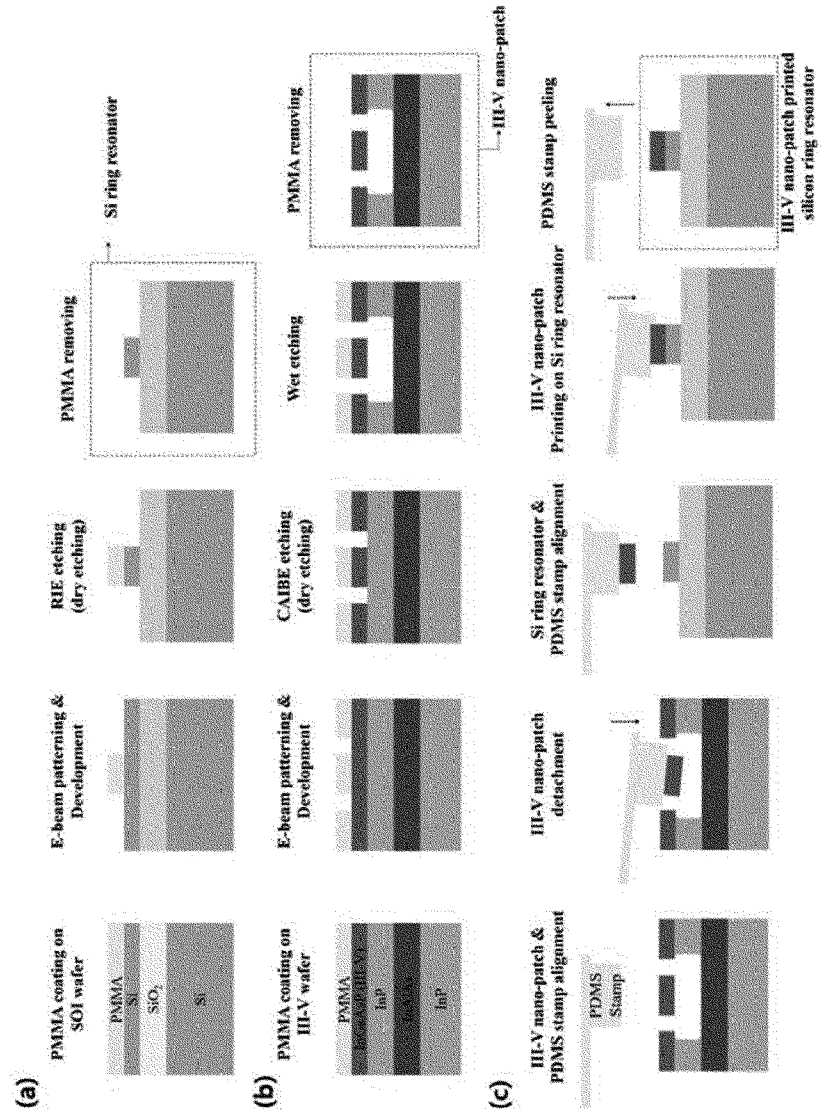
[도1]



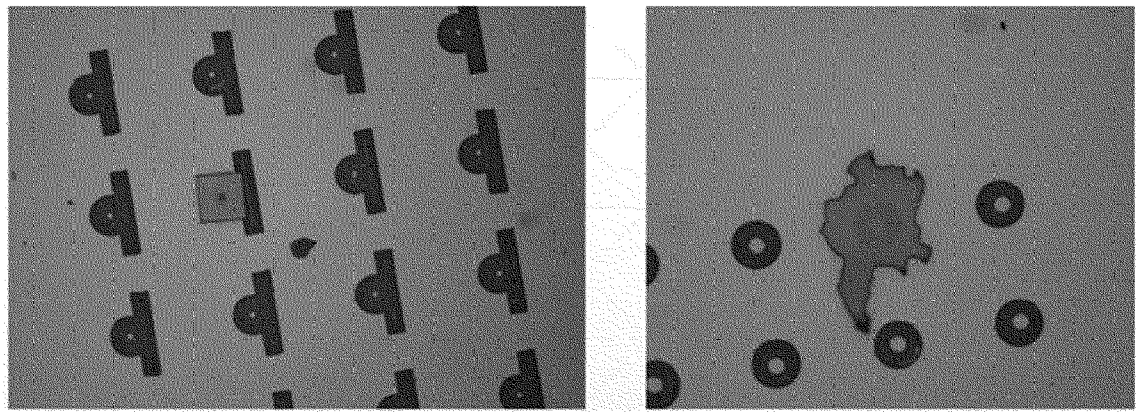
[도2]


Data
communication
Camera
Illuminator
Objective
Data communication
PDMS Stamp
III-V
nano-patch
Silicon PIC
XYZ Piezo
Nano-positioning
Stage
XYZ stage

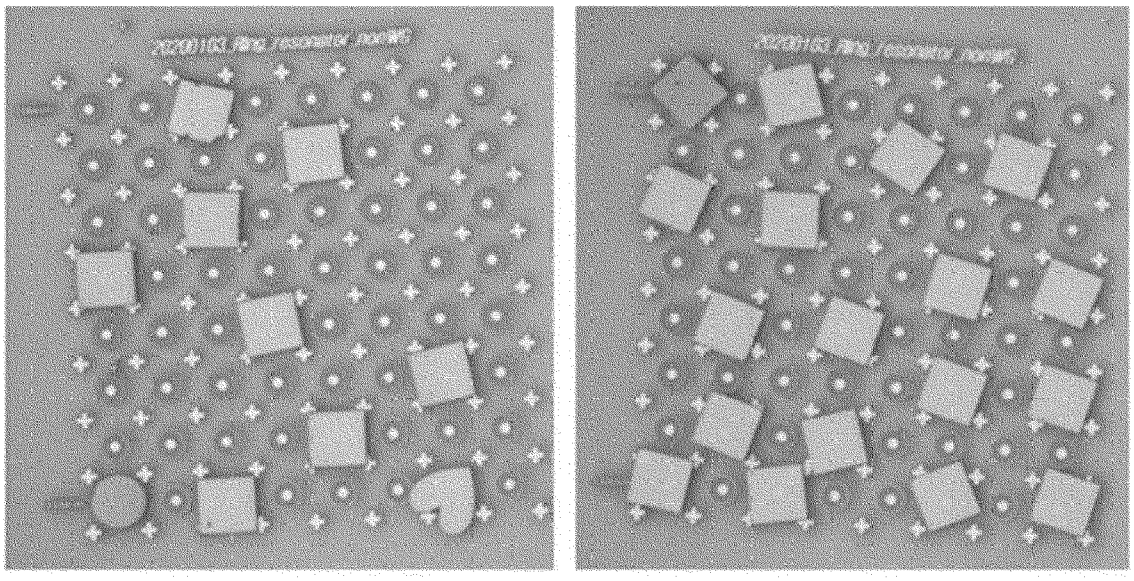
[도3]


(a)
PMMA coating on SOI wafer
PMMA
Si
SiO2
Si
E-beam patterning & Development
RIE etching (dry etching)
PMMA removing
Si ring resonator
(b)
PMMA coating on III-V wafer
PMMA
InP
InP
E-beam patterning & Development
CAIBE etching (dry etching)
Wet etching
PMMA removing
III-V nano-patch
(c)
III-V nano-patch & PDMS stamp alignment
PDMS Stamp
III-V nano-patch detachment
Si ring resonator & PDMS stamp alignment
III-V nano-patch Printing on Si ring resonator
PDMS stamp peeling
III-V nano-patch printed silicon ring resonator

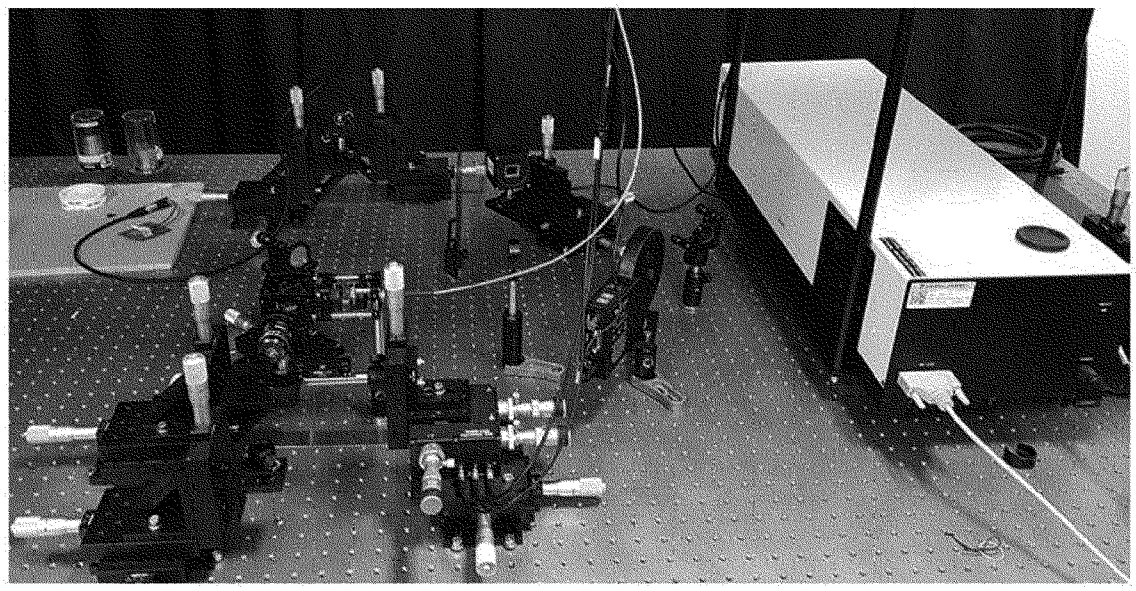
[도4]



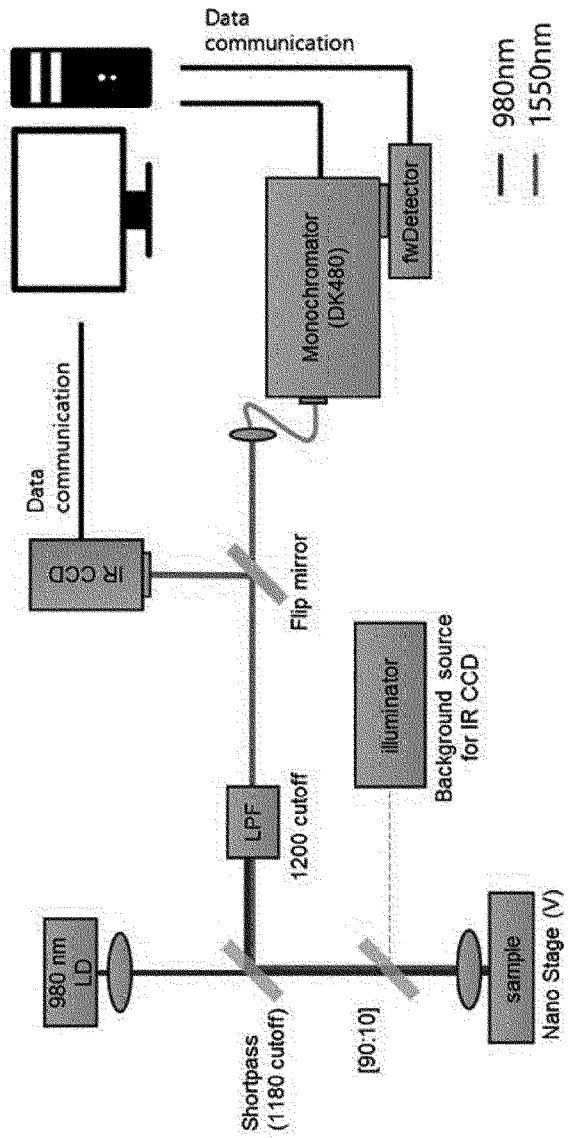
[도5]



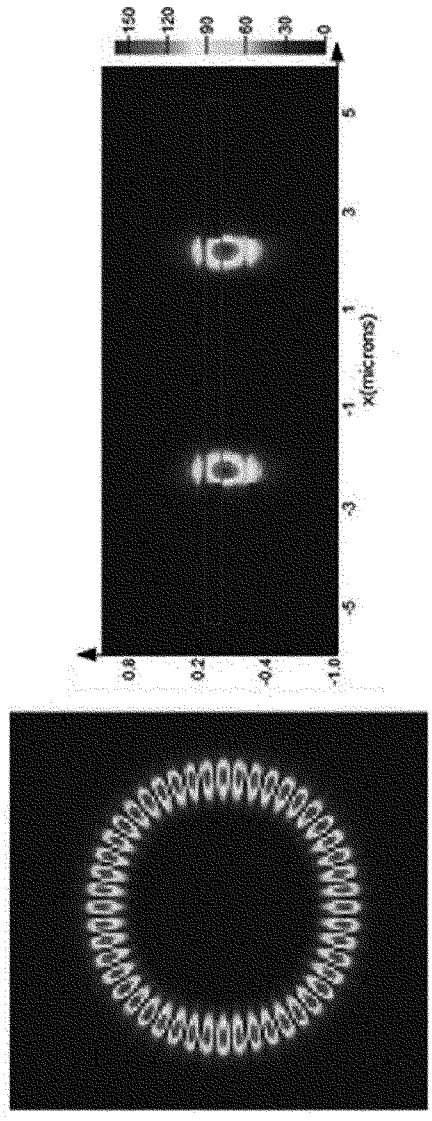
[도6a]



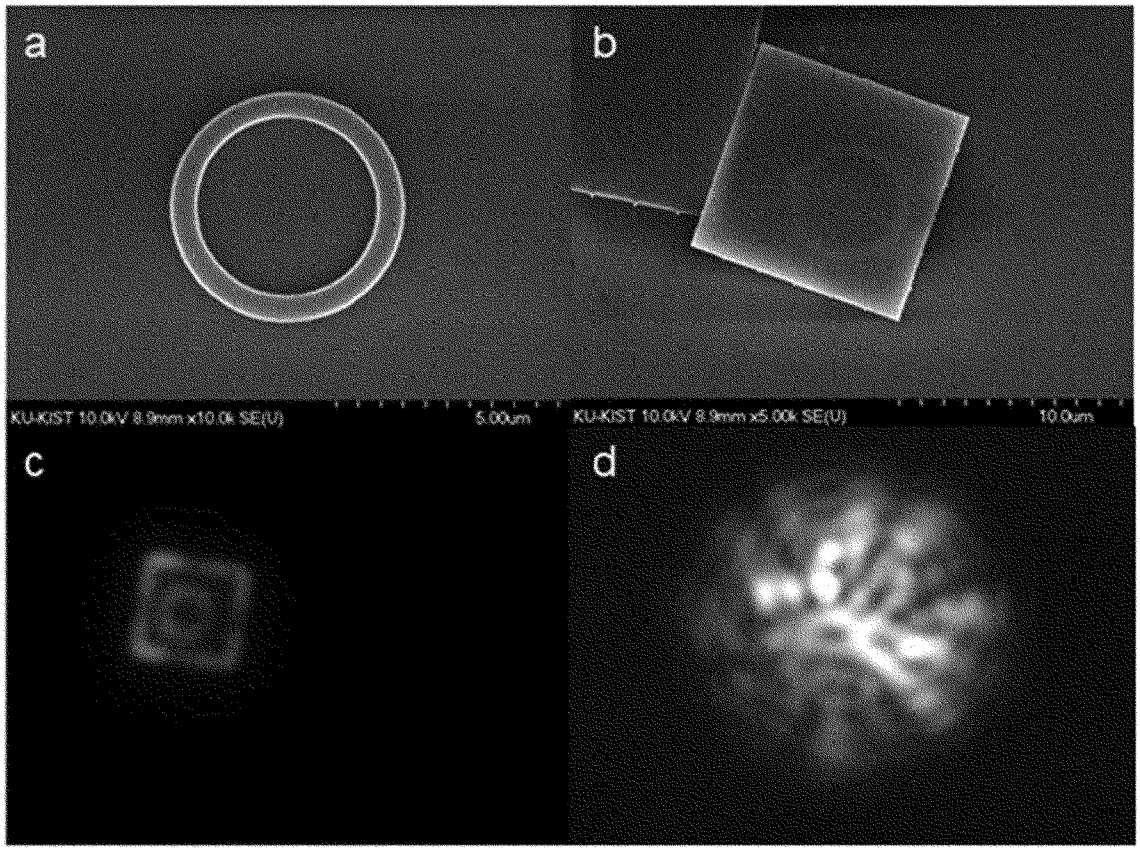
[도6b]


Data communication
980nm
1550nm
fwDetector
Monochromator (DK480)
Data communication
IR CCD
Flip mirror
illuminator
Background source for IR CCD
LPF
1200 cutoff
980 nm LD
Shortpass (1180 cutoff)
[90:10]
sample
Nano Stage (V)

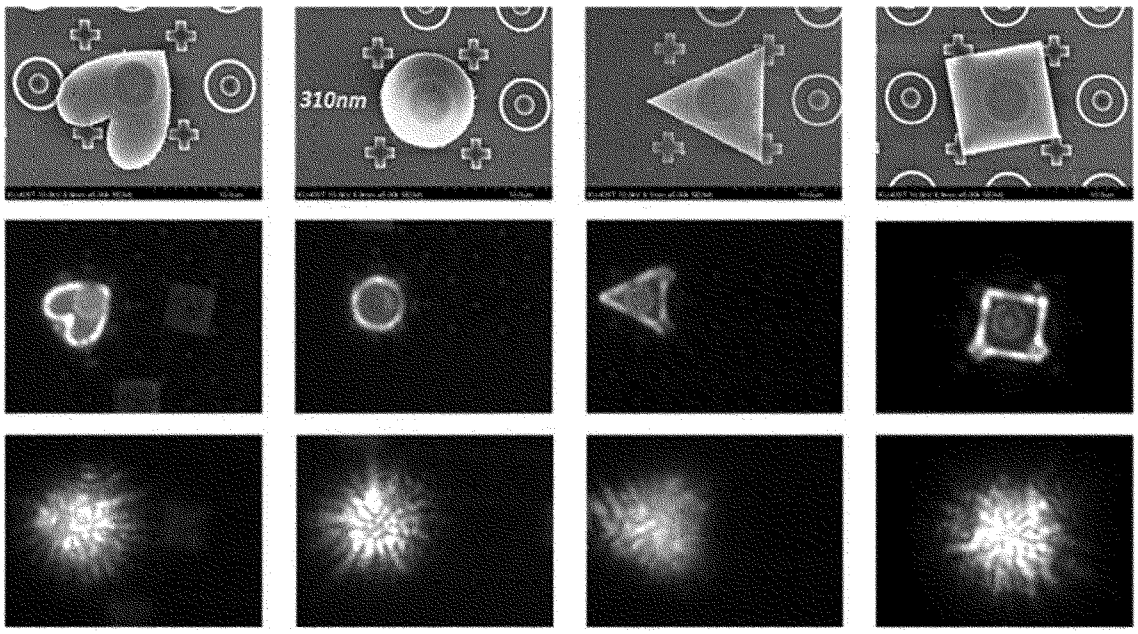
[도7]



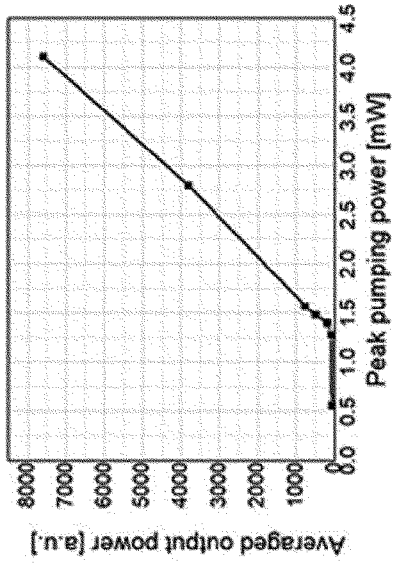
[도8]

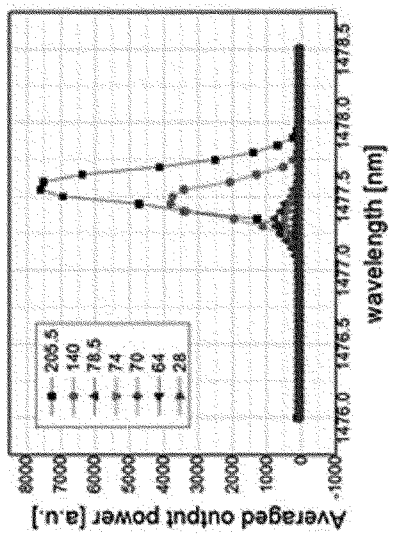

a
b
KU-KIST 10.0kV 8.9mm x10.0k SE(U)
5.00um
KU-KIST 10.0kV 8.9mm x5.00k SE(U)
10.0um
c
d

[도9]

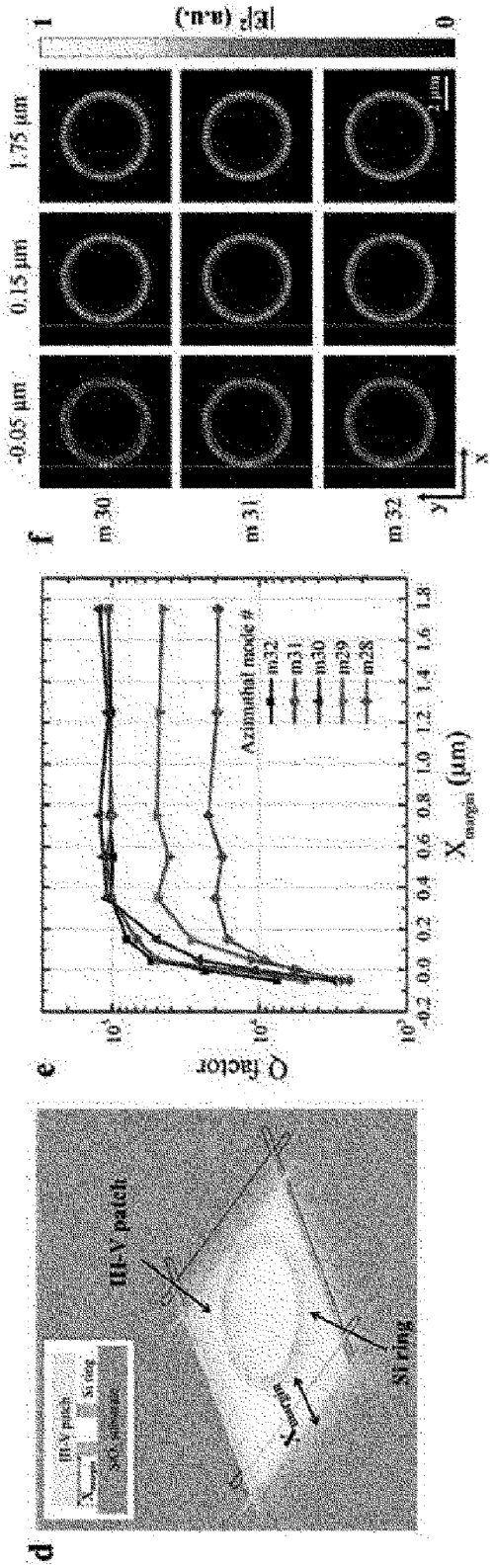

310nm

[도10]


Peak pumping power [mW]
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
Averaged output power [a.u.]
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000


wavelength [nm]
1476.0
1476.5
1477.0
1477.5
1478.0
1478.5
Averaged output power [a.u.]
-1000
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
205.5
140
78.5
74
70
64
28

[도11]


d
III-V patch
Si ring
Si ring
e
Q factor
Azimuthal mode #
m32
m31
m30
m29
m28
f
m 30
m 31
m 32
1.75 μm
0.15 μm
-0.05 μm
x
y

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2021/009132

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S 5/10(2006.01)i; **H01S 5/323**(2006.01)i; **H01S 5/02**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S 5/10(2006.01); G02F 1/017(2006.01); H01S 3/083(2006.01); H01S 5/026(2006.01); H01S 5/187(2006.01); H01S 5/22(2006.01); H01S 5/323(2006.01); H01S 5/343(2006.01)

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & keywords: 캐비티(cavity), 실리콘 구조체(silicone structure), 마이크로 패치 레이저(micro patch laser), 전사인쇄(transfer printing), III-V화합물(III-V compound)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KR 10-2011-0007617 A (HEWLETT-PACKARD DEVELOPMENT COMPANY, L.P.) 24 January 2011 (2011-01-24) See paragraphs [0008]-[0016] and figure 1.	1-9
A		10-13
A	JP 2012-227332 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD.) 15 November 2012 (2012-11-15) See claim 1 and figure 15.	1-13
A	JP 2009-177075 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD.) 06 August 2009 (2009-08-06) See claim 6 and figure 3.	1-13
A	JP 2008-047671 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD.) 28 February 2008 (2008-02-28) See claim 1 and figure 2.	1-13

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 October 2021	**25 October 2021**

Name and mailing address of the ISA/KR	Authorized officer
Korean Intellectual Property Office **Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon 35208**	
Facsimile No. **+82-42-481-8578**	Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-006969 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 08 January 2004 (2004-01-08) See claim 1 and figure 3.	1-13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/KR2021/009132

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
KR 10-2011-0007617 A	24 January 2011	CN 102017336 A	13 April 2011
		CN 102017336 B	04 July 2012
		DE 112008003845 B4	09 February 2017
		DE 112008003845 T5	07 April 2011
		JP 2011-520282 A	14 July 2011
		JP 5179654 B2	10 April 2013
		US 2011-0064106 A1	17 March 2011
		US 8891577 B2	18 November 2014
		WO 2009-136913 A1	12 November 2009
JP 2012-227332 A	15 November 2012	US 2012-0270347 A1	25 October 2012
		US 8642365 B2	04 February 2014
JP 2009-177075 A	06 August 2009	None	
JP 2008-047671 A	28 February 2008	None	
JP 2004-006969 A	08 January 2004	JP 2002-231704 A	16 August 2002
		JP 3464991 B2	10 November 2003
		US 2002-0123166 A1	05 September 2002
		US 2004-0147134 A1	29 July 2004
		US 6709881 B2	23 March 2004
		US 6977186 B2	20 December 2005

국 제 조 사 보 고 서

국제출원번호
PCT/KR2021/009132

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))

H01S 5/10(2006.01)i; **H01S 5/323**(2006.01)i; **H01S 5/02**(2006.01)i

B. 조사된 분야

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)

H01S 5/10(2006.01); G02F 1/017(2006.01); H01S 3/083(2006.01); H01S 5/026(2006.01); H01S 5/187(2006.01); H01S 5/22(2006.01); H01S 5/323(2006.01); H01S 5/343(2006.01)

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌

한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))

eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 캐비티(cavity), 실리콘 구조체(silicone structure), 마이크로 패치 레이저(micro patch laser), 전사인쇄(transfer printing), III-V화합물(III-V compound)

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	KR 10-2011-0007617 A (휴렛-팩커드 디벨롭먼트 컴퍼니, 엘.피.) 2011.01.24 단락 [0008]-[0016] 및 도면 1 참조.	1-9
A		10-13
A	JP 2012-227332 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD.) 2012.11.15 청구항 1 및 도면 15 참조.	1-13
A	JP 2009-177075 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD.) 2009.08.06 청구항 6 및 도면 3 참조.	1-13
A	JP 2008-047671 A (SUMITOMO ELECTRIC IND. LTD.) 2008.02.28 청구항 1 및 도면 2 참조.	1-13
A	JP 2004-006969 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND. CO., LTD.) 2004.01.08 청구항 1 및 도면 3 참조.	1-13

☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☑ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌
"D" 본 국제출원에서 출원인이 인용한 문헌
"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌
"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌
"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌
"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌
"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌
"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.
"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.
"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

국제조사의 실제 완료일	국제조사보고서 발송일
2021년10월22일(22.10.2021)	**2021년10월25일(25.10.2021)**
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 **대한민국 특허청** **(35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사)** 팩스 번호 **+82-42-481-8578**	심사관 **박혜련** 전화번호 **+82-42-481-3463**

서식 PCT/ISA/210 (두 번째 용지) (2019년 7월)

국 제 조 사 보 고 서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
PCT/KR2021/009132

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-2011-0007617 A	2011/01/24	CN 102017336 A	2011/04/13
		CN 102017336 B	2012/07/04
		DE 112008003845 B4	2017/02/09
		DE 112008003845 T5	2011/04/07
		JP 2011-520282 A	2011/07/14
		JP 5179654 B2	2013/04/10
		US 2011-0064106 A1	2011/03/17
		US 8891577 B2	2014/11/18
		WO 2009-136913 A1	2009/11/12
JP 2012-227332 A	2012/11/15	US 2012-0270347 A1	2012/10/25
		US 8642365 B2	2014/02/04
JP 2009-177075 A	2009/08/06	없음	
JP 2008-047671 A	2008/02/28	없음	
JP 2004-006969 A	2004/01/08	JP 2002-231704 A	2002/08/16
		JP 3464991 B2	2003/11/10
		US 2002-0123166 A1	2002/09/05
		US 2004-0147134 A1	2004/07/29
		US 6709881 B2	2004/03/23
		US 6977186 B2	2005/12/20