

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일

2022 년 12 월 22 일 (22.12.2022) WIPO | PCT



(10) 국제공개번호

WO 2022/265166 A1

- (51) 국제특허분류: G02B 6/12 (2006.01) G02B 6/293 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2021/014587
- (22) 국제출원일: 2021 년 10 월 19 일 (19.10.2021)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2021-0078971 2021 년 6 월 17 일 (17.06.2021) KR
- (71) 출원인: 경희대학교 산학협력단 (UNIVERSITY-INDUSTRY COOPERATION GROUP OF KYUNG HEE UNIVERSITY) [KR/KR]; 17104 경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, Gyeonggi-do (KR).
- (72) 발명자: 김영덕 (KIM, Youngduck); 13596 경기도 성남시 분당구 성남대로 449 C동 2504호, Gyeonggi-do (KR).
조민현 (CHO, Min Hyun); 02403 서울시 동대문구 이문로 145 806호, Seoul (KR).
- (74) 대리인: 특허법인 고려 (KORYO IP & LAW); 06239 서울시 강남구 테헤란로 8길 41 6층, 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.

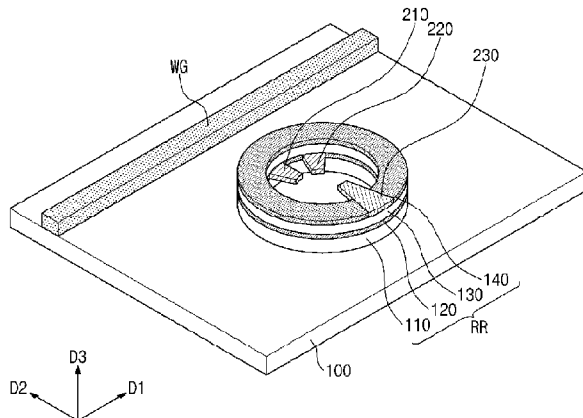
(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, 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))

(54) Title: OPTICAL DEVICE AND OPERATION METHOD THEREOF

(54) 발명의 명칭: 광 소자 및 이의 동작 방법



(57) Abstract: The present invention provides an optical device and an operation method thereof, the optical device comprising: a substrate; an optical waveguide extending in a first direction on the substrate; and a ring resonator adjacent to the optical waveguide in a second direction crossing the first direction on the substrate, wherein: the ring resonator comprises first and second graphene layers on the substrate, a first insulating layer between the substrate and the first graphene layer, a second insulating layer between the first graphene layer and the second graphene layer, first and second electrodes connected to the first graphene layer, and a third electrode connected to the second graphene layer; and the first and second graphene layers and the first and second insulating layers have a ring shape or a partially open ring shape.

(57) 요약서: 본 발명은 기판, 상기 기판 상에서 제1 방향으로 연장되는 광 도파로, 및 상기 기판 상에서 상기 광 도파로에 상기 제1 방향과 교차하는 제2 방향으로 인접하는 링 공진기를 포함하되, 상기 링 공진기는 상기 기판 상의 제1 그래핀층 및 제2 그래핀층, 상기 기판 및 상기 제1 그래핀층 사이의 제1 절연층, 상기 제1 그래핀층 및 상기 제2 그래핀층 사이의 제2 절연층, 상기 제1 그래핀층과 연결되는 제1 전극 및 제2 전극, 및 상기 제2 그래핀층과 연결되는 제3 전극을 포함하고, 상기 제1 그래핀층, 상기 제2 그래핀층, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 링 형상 또는 일부분이 개방된 링 형상을 갖는 광 소자 및 이의 동작 방법을 제공한다.



WO 2022/265166 A1

명세서

발명의 명칭: 광 소자 및 이의 동작 방법

기술분야

- [1] 본 발명은 링 공진기를 포함하는 광 소자에 관한 것으로, 보다 구체적으로 반 데르 발스 이종 접합(van der Waals heterostructure) 구조를 갖는 링 공진기를 포함하는 광 소자 및 이의 동작 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 포토닉스 기술을 이용한 다양한 광 소자들은 일반적으로 SOI(silicon-on-insulator) 웨이퍼를 기반으로 제작된다. 이러한 광 소자들로는 광원(light source), 광 검출기(photodetector), 광 변조기(optical modulator), 광 다이오드(photodiode), 편광 회전기(polarization rotator), 편광 스플리터(polarization splitter), 파장 다중화 장치(wavelength division multiplexer), 파장 역 다중화 장치(wavelength division demultiplexer), 광 분배기(optical power splitter) 등이 있다.
- [3] 한편, 그래핀(graphene)은 탄소 원자들이 sp² 결합을 통해 벌집 모양의 육각형 형태로 연결된 2차원 평면 구조의 물질이다. 그래핀은 높은 전자 이동도, 높은 광 투과도 및 우수한 열 전도도 특성을 가지고 있기 때문에 반도체를 비롯해 에너지, 디스플레이 등의 산업 분야에서 다양한 용도로 활용될 수 있다. 특히, 그래핀을 포토닉스 기술을 이용한 다양한 광 소자들에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [4] 본 발명의 일 기술적 과제는 반 데르 발스 이종 접합(van der Waals heterostructure) 구조를 갖는 링 공진기를 포함하는 광 소자를 제공하는 데 있다.
- [5] 본 발명의 일 기술적 과제는 상술한 광 소자를 광원, 광 검출기 또는 광 변조기로 이용하는 동작 방법을 제공하는 데 있다.
- [6] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제 해결 수단

- [7] 상술한 기술적 과제들을 해결하기 위하여 본 발명의 실시예에 따른 광 소자는 기판, 상기 기판 상에서 제1 방향으로 연장되는 광 도파로, 및 상기 기판 상에서 상기 광 도파로에 상기 제1 방향과 교차하는 제2 방향으로 인접하는 링 공진기를 포함하되, 상기 링 공진기는 상기 기판 상의 제1 그래핀층 및 제2 그래핀층, 상기 기판 및 상기 제1 그래핀층 사이의 제1 절연층, 상기 제1 그래핀층 및 상기 제2 그래핀층 사이의 제2 절연층, 상기 제1 그래핀층과 연결되는 제1 전극 및 제2

전극, 및 상기 제2 그래핀층과 연결되는 제3 전극을 포함하고, 상기 제1 그래핀층, 상기 제2 그래핀층, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 링 형상 또는 일 부분이 개방된 링 형상을 가질 수 있다.

- [8] 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride)를 포함하고, 상기 제1 및 제2 그래핀층들 및 상기 제1 및 제2 절연층들의 접합들은 반 데르 발스 이중 접합일 수 있다.
- [9] 상기 제1 절연층의 두께는 상기 제2 절연층의 두께보다 클 수 있다.
- [10] 상기 제1 그래핀층은 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고, 상기 제1 전극은 상기 제1 그래핀층의 일 단부와 연결되고, 상기 제2 전극은 상기 제1 그래핀층의 타 단부와 연결되고, 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 서로 이격될 수 있다.
- [11] 상기 제2 그래핀층은 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고, 상기 제3 전극은 상기 제2 그래핀층의 일 단부 및 타 단부 모두에 연결될 수 있다.
- [12] 상기 제1 그래핀층 및 상기 제2 그래핀층은 상기 제2 절연층을 사이에 두고 서로 이격될 수 있다.
- [13] 상기 링 공진기는 복수로 제공되고, 상기 링 공진기들은 상기 광 도파로의 일 측면에 상기 제1 방향을 따라 나란히 배열될 수 있다.
- [14] 상기 링 공진기는 복수로 제공되고, 상기 링 공진기들은 상기 광 도파로의 양 측면에 지그재그 형태로 배열될 수 있다.
- [15] 상기 제1 및 제2 그래핀층들, 상기 제1 및 제2 절연층들 각각의 상면의 직경은 서로 동일하고, 상기 제1 및 제2 그래핀층들, 상기 제1 및 제2 절연층들의 측벽들은 서로 정렬될 수 있다.
- [16] 상기 링 공진기의 상기 제1 내지 제3 전극들에 인가되는 전압의 크기, 주기 및 타이밍을 제어하는 것을 통해 광원, 광 검출기 또는 광 변조기로 이용될 수 있다.
- [17] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 광 소자의 동작 방법은 제1 전극에 제1 전압을 인가하는 것을 포함할 수 있다. 이때, 광 소자는 기관, 상기 기관 상에서 일 방향으로 연장되는 광 도파로, 및 상기 기관 상에서 차례로 적층된 제1 절연층, 제1 그래핀층, 제2 절연층 및 제2 그래핀층, 상기 제1 그래핀층에 연결된 제1 전극 및 제2 전극 및 상기 제2 그래핀층에 연결된 제3 전극을 포함하는 링 공진기를 포함하되, 상기 제1 그래핀층, 상기 제2 그래핀층, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 링 형상 또는 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride)를 포함하고, 상기 제1 및 제2 그래핀층들 및 상기 제1 및 제2 절연층들의 접합들은 반 데르 발스 이중 접합일 수 있다.
- [18] 상기 제2 전극을 접지시키는 것, 및 상기 링 공진기로부터 광을 방출하는 것을 더 포함하되, 상기 제1 전압은 직류 전압, 교류 전압 또는 펄스 전압일 수 있다.
- [19] 상기 제2 전극을 접지시키는 것, 및 상기 제3 전극에 제2 전압을 인가하는 것을 더 포함하되, 상기 제1 전압 및 상기 제2 전압은 펄스 전압이고, 상기 제1 전압의 펄스 지속 시간 및 상기 제2 전압의 펄스 지속 시간은 서로 다를 수 있다.

- [20] 상기 제1 전압의 펄스 지속 시간은 상기 제2 전압의 펄스 지속 시간보다 클 수 있다.
- [21] 상기 제1 전압의 펄스 지속 시간 및 상기 제2 전압의 펄스 지속 시간의 차이는 10 fs 내지 10 ns일 수 있다.
- [22] 상기 링 공진기로 광을 입사시키는 것, 상기 제3 전극에 제2 전압을 인가하는 것, 상기 제2 전극에 전류계를 연결하는 것, 및 상기 전류계로 상기 제2 그래핀층으로부터 상기 제2 절연층을 통해 상기 제1 그래핀층으로 전달되는 전자의 흐름을 측정하는 것을 더 포함할 수 있다.
- [23] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 광 소자의 동작 방법은 광 도파로로 입력광을 입력하는 것, 제3 전극에 인가되는 전압을 제어하는 것, 및 상기 광 도파로로부터 출력광을 출력하는 것을 포함할 수 있다. 이때, 광 소자는 기판, 상기 기판 상에서 일 방향으로 연장되는 광 도파로, 및 상기 기판 상에서 차례로 적층된 제1 절연층, 제1 그래핀층, 제2 절연층 및 제2 그래핀층, 상기 제1 그래핀층에 연결된 제1 전극 및 제2 전극 및 상기 제2 그래핀층에 연결된 제3 전극을 포함하는 링 공진기를 포함하되, 상기 제1 그래핀층, 상기 제2 그래핀층, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 링 형상 또는 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride)를 포함하고, 상기 제1 및 제2 그래핀층들 및 상기 제1 및 제2 절연층들의 접합들은 반 데르 발스 이중 접합일 수 있다.
- [24] 상기 제3 전극에 인가되는 전압을 제어하는 것은 상기 제3 전극에 주기적으로 전압을 인가하는 것일 수 있다.
- [25] 상기 제3 전극에 인가되는 전압은 약 0.1 V 내지 30 V일 수 있다.
- [26] 상기 제3 전극이 인가되지 않은 경우의 상기 제2 그래핀층의 페르미 레벨은 상기 제3 전극이 인가된 경우의 상기 제2 그래핀층의 페르미 레벨보다 높을 수 있다.

발명의 효과

- [27] 본 발명의 실시예에 따른 광 소자는 반 데르 발스 이중 접합(van der Waals heterostructure) 구조를 갖는 링 공진기를 통해 광원, 광 검출기 또는 광 변조기로 이용될 수 있다.
- [28] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 광 소자는 실리콘 전자 칩에 집적되어 실리콘 포토닉스를 구현할 수 있으므로, 고밀도 집적화가 가능하며 CMOS 칩 등과 호환될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [29] 도 1a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자를 설명하기 위한 사시도이다.
- [30] 도 1b는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 링 공진기를 설명하기 위한 분해 사시도이다.
- [31] 도 2a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자 및 이의 동작 방법을 설명하기 위한

사시도이다.

[32] 도 2b, 도 2c 및 도 2d는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 동작 방법을 설명하기 위한 그래프들이다.

[33] 도 3a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자 및 이의 동작 방법을 설명하기 위한 사시도이다.

[34] 도 3b 및 도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 동작 방법을 설명하기 위한 그래프들이다.

[35] 도 4a 및 도 5a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자 및 이의 동작 방법을 설명하기 위한 사시도들이다.

[36] 도 4b 및 도 5b는 그래핀의 페르미 레벨을 나타내는 모식도들이다.

[37] 도 6a, 도 6b 및 도 6c는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 동작 방법을 설명하기 위한 그래프들이다.

[38] 도 7 및 도 8은 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자를 설명하기 위한 사시도들이다.

발명의 실시를 위한 최선의 형태

[39] 본 발명의 구성 및 효과를 충분히 이해하기 위하여, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세히 설명한다.

[40] 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라, 여러 가지 형태로 구현될 수 있고 다양한 수정 및 변형을 가할 수 있다. 단지, 본 실시예의 설명을 통해 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 본 발명이 속하는 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위하여 제공되는 것이다. 첨부된 도면에서 설명의 편의를 위하여 각 구성 요소의 비율은 과장되거나 축소될 수 있다.

[41] 본 명세서에서 사용된 용어는 실시예를 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 또한 본 명세서에서 사용되는 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 통상적으로 알려진 의미로 해석될 수 있다.

[42] 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다. 명세서에서 사용되는 ‘포함한다(comprises)’ 및/또는 ‘포함하는(comprising)’은 언급된 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[43] 본 명세서에서 제1, 제2 등의 용어가 다양한 영역, 방향, 형상 등을 기술하기 위해서 사용되었지만, 이들 영역, 방향, 형상이 이 같은 용어들에 의해서 한정되어서는 안 된다. 이들 용어들은 단지 어느 소정 영역, 방향 또는 형상을 다른 영역, 방향 또는 형상과 구별시키기 위해서 사용되었을 뿐이다. 따라서, 어느 한 실시예에서 제1 부분으로 언급된 부분이 다른 실시예에서는 제2

부분으로 언급될 수도 있다. 여기에 설명되고 예시되는 실시예는 그것의 상보적인 실시예도 포함한다. 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

- [44] 이하, 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 광 소자 및 이의 동작 방법에 대하여 상세히 설명한다.
- [45]
- [46] 도 1a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자를 설명하기 위한 사시도이다. 도 1b는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 링 공진기를 설명하기 위한 분해 사시도이다.
- [47] 도 1a 및 도 1b를 참조하면, 본 발명에 따른 광 소자는 기판(100), 기판(100) 상의 링 공진기(RR) 및 광 도파로(WG)를 포함할 수 있다. 기판(100)은, 예를 들어, 실리콘 등을 포함하는 반도체 기판 또는 실리콘 산화물을 포함하는 SOI(silicon-on-insulator) 기판일 수 있다. 기판(100)은 제1 방향(D1) 및 제1 방향(D1)과 교차하는 제2 방향(D2)과 나란하고, 제3 방향(D3)과 직교하는 상면을 가질 수 있다. 제1 내지 제3 방향들(D1, D2, D3)은, 예를 들어, 서로 직교하는 방향들일 수 있다.
- [48] 기판(100) 상에서 제1 방향(D1)으로 연장되는 광 도파로(WG)가 제공될 수 있다. 광 도파로(WG)는, 예를 들어, 기판(100)으로부터 제3 방향(D3)으로 돌출된 라인 형태를 가질 수 있으나 본 발명은 이에 제한되지 않는다. 광 도파로(WG)는, 예를 들어, 실리콘, 실리콘 질화물 또는 질화 붕소를 포함할 수 있다.
- [49] 기판(100) 상에 광 도파로(WG)와 제2 방향(D2)으로 인접하는 링 공진기(RR)가 제공될 수 있다. 링 공진기(RR)는 기판(100) 상에 차례로 적층된 제1 절연층(110), 제1 그래핀층(120), 제2 절연층(130) 및 제2 그래핀층(140)을 포함할 수 있다. 제1 절연층(110) 및 제2 절연층(130) 각각은, 예를 들어, 링 형상을 가질 수 있다. 제1 그래핀층(120) 및 제2 그래핀층(140) 각각은, 예를 들어, 일 부분이 개방된 링 형상, 즉 C자 형상을 가질 수 있다.
- [50] 제1 절연층(110), 제1 그래핀층(120), 제2 절연층(130) 및 제2 그래핀층(140) 각각의 상면의 직경은 실질적으로 동일할 수 있다. 다시 말하면, 제1 절연층(110), 제1 그래핀층(120), 제2 절연층(130) 및 제2 그래핀층(140)의 측벽들은 서로 정렬될 수 있으나, 본 발명은 이에 제한되지 않는다.
- [51] 제1 절연층(110)은 기판(100)의 상면과 제1 그래핀층(120) 사이에 제공될 수 있다. 제1 그래핀층(120)은 제1 절연층(110)과 제2 절연층(130) 사이에 제공될 수 있다. 제2 절연층(130)은 제1 그래핀층(120)과 제2 그래핀층(140) 사이에 제공될 수 있다. 특히, 제1 그래핀층(120) 및 제2 그래핀층(140)은 제2 절연층(130)을 사이에 두고 제3 방향(D3)으로 서로 이격될 수 있다.
- [52] 제1 절연층(110)의 제3 방향(D3)으로의 두께(T1)는 제2 절연층(130)의 제3 방향(D3)으로의 두께(T2)보다 클 수 있다. 이하에서, 두께는 제3 방향(D3)으로의 두께를 의미한다. 제1 그래핀층(120) 및 제2 그래핀층(140) 각각의 두께는 제2

절연층(130)의 두께(T2)보다 작을 수 있다.

- [53] 제1 절연층(110) 및 제2 절연층(130)은, 예를 들어, 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride; 이하 hBN)를 포함할 수 있다. hBN은 그래핀과 동등 구조를 갖는(isostructural) 이차원 물질(2-dimensional material)로, 고온에서 안정적이고 봉지(encapsulation) 효과가 우수한 물질이다. 제1 및 제2 그래핀층들(120, 140)과 제1 및 제2 절연층들(110, 130)의 접합들 각각은 그 계면에서 강한 빛-물질 상호 작용을 일으키는 반 데르 발스 이중 접합(van der Waals heterostructure)일 수 있다.
- [54] 제1 그래핀층(120)과 연결되는 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)이 제공될 수 있다. 제1 전극(210)은 C자 형상을 갖는 제1 그래핀층(120)의 일 단부와 연결될 수 있고, 제2 전극(220)은 제1 그래핀층(120)의 타 단부와 연결될 수 있다. 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)은 제1 그래핀층(120)과 실질적으로 동일한 레벨에 제공될 수 있다. 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)은 링의 접선 방향(tangential direction)으로 서로 이격될 수 있다. 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)은 링의 방사 방향(radial direction)으로 연장될 수 있고, 제1 전극(210) 및 제2 전극(220) 각각의 일 부분은 제1 그래핀층(120)의 내측벽으로부터 돌출될 수 있다. 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)은 소스 전극 및 드레인 전극으로 지칭될 수 있다.
- [55] 제2 그래핀층(140)과 연결되는 제3 전극(230)이 제공될 수 있다. 제3 전극(230)은 C자 형상을 갖는 제2 그래핀층(140)의 일 단부 및 타 단부에 모두 연결될 수 있다. 즉, 제3 전극(230)은 제2 그래핀층(140)의 일 단부와 타 단부를 연결시킬 수 있다. 제3 전극(230)은 제2 그래핀층(140)과 실질적으로 동일한 레벨에 제공될 수 있고, 제1 전극(210) 및 제2 전극(220)보다 높은 레벨에 제공될 수 있다. 제3 전극(230)은 방사 방향으로 연장될 수 있고, 제3 전극(230)의 일 부분은 제2 그래핀층(140)의 내측벽으로부터 돌출될 수 있다. 제3 전극(230)은 게이트 전극으로 지칭될 수 있다.
- [56] 본 발명에 따른 광 소자는 링 공진기(RR)의 제1 내지 제3 전극들(210, 220, 230)에 인가되는 전압의 크기, 주기, 타이밍 등을 제어하는 것을 통해 광원(light source), 광 검출기(photodetector) 또는 광 변조기(optical modulator)로 이용될 수 있다.
- [57]
- [58] 도 2a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자 및 이의 동작 방법을 설명하기 위한 사시도이다.
- [59] 도 2a를 참조하면, 본 발명에 따른 광 소자를 광원으로 이용하는 것은 제1 전극(210) 및 제3 전극(230) 각각에 제1 전압(V_A) 및 제2 전압(V_B)을 인가하는 것 및 제2 전극(220)을 접지시키는 것을 통해 수행될 수 있다. 다시 말하면, 본 발명에 따른 광 소자의 동작 방법은, 일 예로, 제1 전극(210) 및 제3 전극(230) 각각에 제1 전압(V_A) 및 제2 전압(V_B)을 인가하고 제2 전극(220)을 접지시키는 것 및 링 공진기(RR)로부터 광을 방출하는 것을 포함할 수 있다. 실시예들에 따라, 제3 전극(230)에는 전압이 인가되지 않을 수 있다. 이때, 제1 전압(V_A) 및 제2

전압(V_B)은 약 0.1 V 내지 30 V일 수 있다.

- [60] 도 2b, 도 2c 및 도 2d는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 동작 방법을 설명하기 위한 그래프들이다. 각 그래프들에서, 가로축은 시간(단위는 ps($=10^{-12}$ 초))이며, 세로축은 전압의 크기 또는 광의 세기이다.
- [61] 도 2a, 도 2b, 도 2c 및 도 2d를 참조하면, 제1 전극(210)에 제1 전압(V_A)이 인가되고 제2 전극(220)이 접지되면 링 공진기(RR)로부터 광이 방출될 수 있다.
- [62] 도 2b는 제1 전극(210)에 직류 전압(DC)이 인가되는 경우를 나타내며, 도 2c는 제1 전극(210)에 교류 전압(AC) 또는 펄스 전압(pulse voltage)이 인가되는 경우를 나타낸다. 방출되는 광의 세기는 인가되는 전압의 크기에 비례할 수 있다.
- [63] 보다 구체적으로, 제1 전극(210)을 통해 제1 그래핀층(120)에 직류 전압(DC)이 인가되면 줄 히팅(Joule heating)에 의한 열 복사에 의해 일정한 세기의 광이 방출될 수 있다. 또한, 제1 전극(210)을 통해 제1 그래핀층(120)에 교류 전압(AC) 또는 펄스 전압이 인가되면 열 전자와 포논의 비균등 상태로부터 약 10 GHz 이상의 주파수를 갖는 광이 방출될 수 있다. 방출되는 광의 주파수는 인가되는 전압에 따라 제어될 수 있다.
- [64] 도 2d는 제1 전극(210) 및 제3 전극(230) 각각에 제1 전압(V_A) 및 제2 전압(V_B)이 인가되고, 제2 전극(220)이 접지되는 경우를 나타낸다. 제1 전압(V_A) 및 제2 전압(V_B) 각각은 펄스 전압일 수 있고, 제1 전압(V_A)의 펄스 지속 시간(pulse duration, Δt_a) 및 제2 전압(V_B)의 펄스 지속 시간(Δt_b)은 서로 다를 수 있다. 일 예로, 제1 전압(V_A)의 펄스 지속 시간(Δt_a)은 제2 전압(V_B)의 펄스 지속 시간(Δt_b)보다 클 수 있다. 광은 제1 전압(V_A)의 펄스 지속 시간(Δt_a) 및 제2 전압(V_B)의 펄스 지속 시간(Δt_b)의 차이에 해당하는 펄스 지속 시간을 갖는 펄스 형태로 방출될 수 있다. 이때, 제1 전압(V_A)의 펄스 지속 시간(Δt_a) 및 제2 전압(V_B)의 펄스 지속 시간(Δt_b)의 차이는 약 10 fs 내지 10 ns일 수 있다.
- [65] 보다 구체적으로, 제1 전극(210)을 통해 제1 그래핀층(120)에 제1 전압(V_A)이 인가되면 열 전자에 의해 광이 방출될 수 있고, 제3 전극(230)을 통해 제2 그래핀층(140)에 제2 전압(V_B)이 인가되면 열 전자가 제2 절연층(130)을 통해 제2 그래핀층(140) 및 제3 전극(230)으로 터널링되어 광이 방출되지 않을 수 있다. 결과적으로, 제1 그래핀층(120)에 교류 전압 또는 펄스 전압이 인가될 때보다 높은 주파수를 갖는 광이 방출될 수 있고, 본 발명에 따른 광 소자는 단일 그래핀층만을 포함하는 광원보다 빠른 변조 속도를 가질 수 있다.
- [66]
- [67] 도 3a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자 및 이의 동작 방법을 설명하기 위한 사시도이다.
- [68] 도 3a를 참조하면, 본 발명에 따른 광 소자를 광 검출기로 이용하는 것은 제3 전극(230)에 전압(V_B)을 인가하는 것 및 제2 전극(220)에 전류계(300)를 연결하는 것을 통해 수행될 수 있다. 다시 말하면, 본 발명에 따른 광 소자의 동작 방법은, 일 예로, 링 공진기(RR)로 광을 입사시키는 것, 제3 전극(230)에 전압(V_B)을

인가하고 제2 전극(220)에 전류계(300)를 연결하는 것, 전류계(300)로 광 전류(photo current)를 측정하는 것을 포함할 수 있다.

[69] 도 3b 및 도 3c는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 동작 방법을 설명하기 위한 그래프들이다. 도 3b 및 도 3c에서, 가로축은 시간이며, 세로축은 광의 세기, 제2 전압(V_B)의 크기 또는 광 전류의 크기(단위는 암페어(A))이다.

[70] 도 3a, 도 3b 및 도 3c를 참조하면, 링 공진기(RR)로 광이 입사되고 제3 전극(230)에 전압(V_B)이 인가되면, 전류계(300)를 통해 광 전류를 측정할 수 있다. 보다 구체적으로, 링 공진기(RR)로 입사된 광에 의해 여기된 제2 그래핀층(140) 내의 전자는 열중성자화(thermalization)될 수 있고, 제2 절연층(130)을 통해 제1 그래핀층(120)으로 전달될 수 있다. 제2 전극(220)과 연결된 전류계(300)를 통해, 제1 그래핀층(120)으로 전달되는 전자의 흐름(즉, 광 전류)을 측정할 수 있다. 제2 전압(V_B)이 커질수록 광자 보조 터널링(photon-assisted tunneling)에 의해 더 많은 전자가 전달될 수 있고, 이에 따라 광 검출 민감도가 향상될 수 있다.

[71]

[72] 도 4a 및 도 5a는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자 및 이의 동작 방법을 설명하기 위한 사시도들이다. 도 4b 및 도 5b는 그래핀의 페르미 레벨을 나타내는 모식도들이다.

[73] 도 4a, 도 4b, 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 본 발명에 따른 광 소자를 광 변조기로 이용하는 것은 광 도파로(WG)를 통해 광을 진행시키는 것 및 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)을 제어하는 것을 통해 수행될 수 있다. 다시 말하면, 본 발명에 따른 광 소자의 동작 방법은, 일 예로, 광 도파로(WG)로 입력광(IL)을 입력하는 것, 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)을 제어하는 것 및 광 도파로(WG)로부터 출력광(OL)을 출력하는 것을 포함할 수 있다.

[74] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 광 도파로(WG)를 통해 입력광(IL)이 입력되고 제3 전극(230)에 전압이 인가되지 않는 경우, 광 도파로(WG)를 통해 진행하는 입력광(IL)은 광 손실이 발생하여 링 공진기(RR)와 커플링되지 않고(decoupled) 출력광(OL)으로 출력될 수 있다. 이때, 제2 그래핀층(140)의 페르미 레벨은 제1 레벨(E1)일 수 있다.

[75] 도 5a 및 도 5b를 참조하면, 광 도파로(WG)를 통해 입력광(IL)이 입력되고 제3 전극(230)에 전압이 인가되는 경우, 파울리 블록킹(Pauli blocking)으로 인해 광 손실이 감소하여 광 도파로(WG)를 통해 진행하는 입력광(IL)의 적어도 일부는 링 공진기(RR)와 커플링될(coupled) 수 있고, 링 공진기(RR) 내에 커플링 광(CL)이 생성될 수 있다. 이때, 광 도파로(WG)를 통해 출력되는 출력광(OL)의 세기는 도 4a 및 도 4b의 경우에 비해 작을 수 있다. 이때, 제2 그래핀층(140)의 페르미 레벨은 제2 레벨(E2)에 해당할 수 있고, 제2 레벨(E2)은 제1 레벨(E1)보다 낮을 수 있다. 제2 레벨(E2)은 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)에 의해 제어될 수 있다. 일 예로, 제3 전극에 인가되는 전압(V_B)은 약 0.1 V 내지 30 V일 수 있다.

[76] 도 6a, 도 6b 및 도 6c는 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자의 동작 방법을

설명하기 위한 그래프들이다. 보다 구체적으로, 도 6a는 입력광(IL)의 파장이 일정한 상황에서 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)의 크기에 따른 흡수 계수(absorption coefficient)를 나타내고, 도 6b는 입력광(IL)의 파장(단위는 nm)에 따른 투과 손실(transmission loss)을 나타내며, 도 6c는 시간에 따른 입력광(IL)의 세기, 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)의 크기 및 출력광(OL)의 세기를 나타낸다.

- [77] 도 6a를 참조하면, 특정한 파장의 입력광(IL)에 대하여 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)이 커질수록 흡수 계수는 증가했다가 감소하는 경향을 나타낼 수 있다.
- [78] 도 6b를 참조하면, 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)에 따른 줄 히팅에 따라 투과 손실이 작아지는 파장이 달라질 수 있다. 즉, 투과 손실이 작아지는(커플링되는) 파장은 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)에 의해 제어될 수 있다.
- [79] 도 6c를 참조하면, 제3 전극(230)에 주기적으로 전압(V_B)을 인가하는 것을 통해 출력광(OL)의 세기가 주기적으로 변동될 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 광 소자의 동작 방법에서 제3 전극(230)에 인가되는 전압(V_B)을 제어하는 것은 제3 전극(230)에 주기적으로 전압(V_B)을 인가하는 것일 수 있다.
- [80]
- [81] 도 7 및 도 8은 본 발명의 실시예들에 따른 광 소자를 설명하기 위한 사시도들이다. 이하에서, 설명의 편의를 위하여 도 1a 및 도 1b를 참조하여 설명한 것과 실질적으로 동일한 사항에 대한 설명을 생략하고, 차이점에 대하여 상세히 설명한다.
- [82] 도 7 및 도 8을 참조하면, 링 공진기(RR)는 복수로 제공될 수 있다. 복수의 링 공진기들(RR)은 실질적으로 동일한 구조를 가질 수 있다. 복수의 링 공진기들(RR)은 도 7과 같이 광 도파로(WG)의 일 측면에 제1 방향(D1)을 따라 나란히 배열될 수도 있고, 도 8과 같이 광 도파로(WG)의 양 측면에 지그재그 형태로 배열될 수도 있다. 다만, 이는 예시적인 것일 뿐 본 발명은 도 7 및 도 8에 도시된 것에 제한되지 않으며 복수의 링 공진기들(RR)은 광 도파로(WG) 주변에 다양한 형태로 배열될 수 있다.
- [83]
- [84] 이상, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

청구범위

- [청구항 1] 기판;
 상기 기판 상에서 제1 방향으로 연장되는 광 도파로; 및
 상기 기판 상에서 상기 광 도파로에 상기 제1 방향과 교차하는 제2 방향으로 인접하는 링 공진기를 포함하되,
 상기 링 공진기는:
 상기 기판 상의 제1 그래핀층 및 제2 그래핀층;
 상기 기판 및 상기 제1 그래핀층 사이의 제1 절연층;
 상기 제1 그래핀층 및 상기 제2 그래핀층 사이의 제2 절연층;
 상기 제1 그래핀층과 연결되는 제1 전극 및 제2 전극; 및
 상기 제2 그래핀층과 연결되는 제3 전극을 포함하고,
 상기 제1 그래핀층, 상기 제2 그래핀층, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 링 형상 또는 일 부분이 개방된 링 형상을 갖는 광 소자.
- [청구항 2] 청구항 1에 있어서,
 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride)를 포함하고,
 상기 제1 및 제2 그래핀층들 및 상기 제1 및 제2 절연층들의 접합들은 반 데르 발스 이중 접합인 광 소자.
- [청구항 3] 청구항 1에 있어서,
 상기 제1 절연층의 두께는 상기 제2 절연층의 두께보다 큰 광 소자.
- [청구항 4] 청구항 1에 있어서,
 상기 제1 그래핀층은 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고,
 상기 제1 전극은 상기 제1 그래핀층의 일 단부와 연결되고,
 상기 제2 전극은 상기 제1 그래핀층의 타 단부와 연결되고,
 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극은 서로 이격되는 광 소자.
- [청구항 5] 청구항 1에 있어서,
 상기 제2 그래핀층은 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고,
 상기 제3 전극은 상기 제2 그래핀층의 일 단부 및 타 단부 모두에 연결되는 광 소자.
- [청구항 6] 청구항 1에 있어서,
 상기 제1 그래핀층 및 상기 제2 그래핀층은 상기 제2 절연층을 사이에 두고 서로 이격되는 광 소자.
- [청구항 7] 청구항 1에 있어서,
 상기 링 공진기는 복수로 제공되고,
 상기 링 공진기들은 상기 광 도파로의 일 측면에 상기 제1 방향을 따라 나란히 배열되는 광 소자.
- [청구항 8] 청구항 1에 있어서,

상기 링 공진기는 복수로 제공되고,
상기 링 공진기들은 상기 광 도파로의 양 측면에 지그재그 형태로
배열되는 광 소자.

[청구항 9] 청구항 1에 있어서,
상기 제1 및 제2 그레핀층들, 상기 제1 및 제2 절연층들 각각의 상면의
직경은 서로 동일하고,
상기 제1 및 제2 그레핀층들, 상기 제1 및 제2 절연층들의 측벽들은 서로
정렬되는 광 소자.

[청구항 10] 청구항 1에 있어서,
상기 링 공진기의 상기 제1 내지 제3 전극들에 인가되는 전압의 크기,
주기 및 타이밍을 제어하는 것을 통해 광원, 광 검출기 또는 광 변조기로
이용되는 광 소자.

[청구항 11] 기관, 상기 기관 상에서 일 방향으로 연장되는 광 도파로, 및 상기 기관
상에서 차례로 적층된 제1 절연층, 제1 그레핀층, 제2 절연층 및 제2
그레핀층, 상기 제1 그레핀층에 연결된 제1 전극 및 제2 전극 및 상기 제2
그레핀층에 연결된 제3 전극을 포함하는 링 공진기를 포함하는 광 소자에
있어서,
상기 제1 전극에 제1 전압을 인가하는 것을 포함하고,
상기 제1 그레핀층, 상기 제2 그레핀층, 상기 제1 절연층 및 상기 제2
절연층은 링 형상 또는 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고,
상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 육방정 질화 붕소(hexagonal boron
nitride)를 포함하고,
상기 제1 및 제2 그레핀층들 및 상기 제1 및 제2 절연층들의 접합들은 반
데르 발스 이중 접합인 광 소자의 동작 방법.

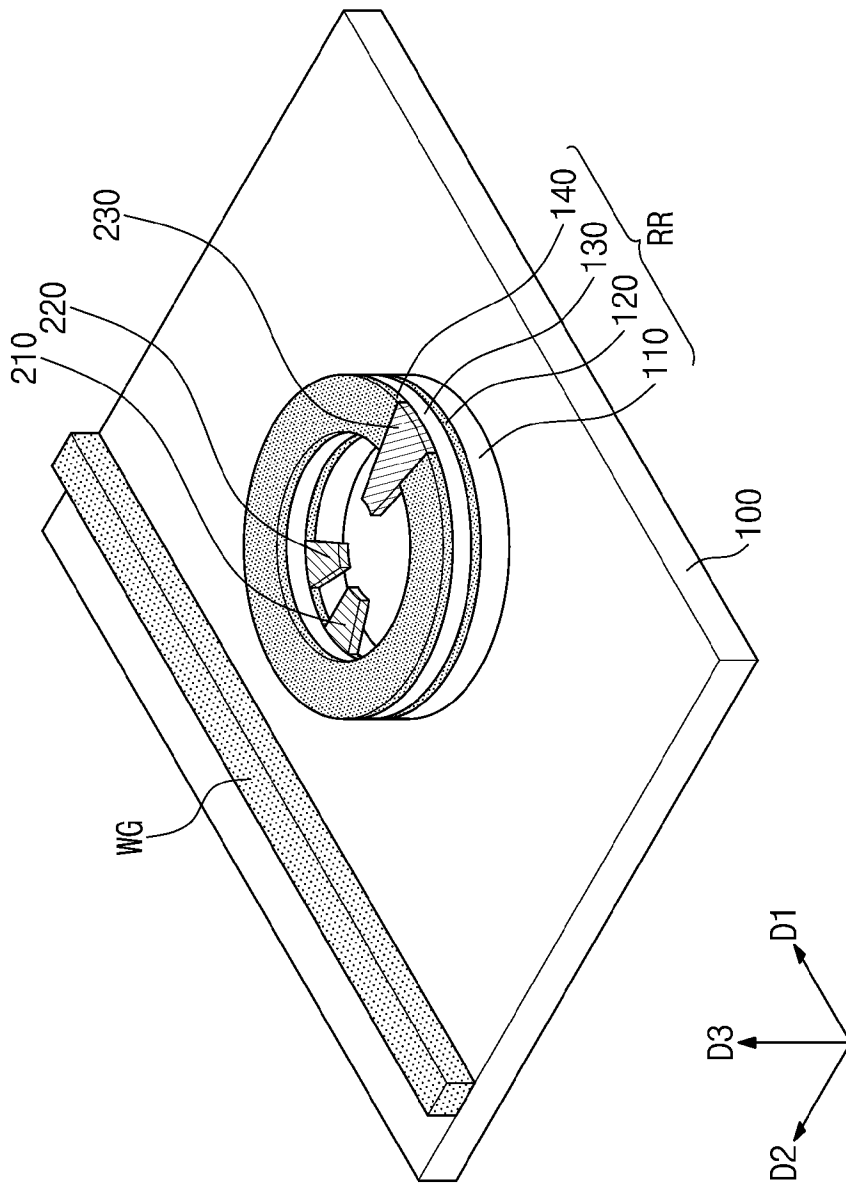
[청구항 12] 청구항 11에 있어서,
상기 제2 전극을 접지시키는 것; 및
상기 링 공진기로부터 광을 방출하는 것을 더 포함하되,
상기 제1 전압은 직류 전압, 교류 전압 또는 펄스 전압인 광 소자의 동작
방법.

[청구항 13] 청구항 11에 있어서,
상기 제2 전극을 접지시키는 것; 및
상기 제3 전극에 제2 전압을 인가하는 것을 더 포함하되,
상기 제1 전압 및 상기 제2 전압은 펄스 전압이고,
상기 제1 전압의 펄스 지속 시간 및 상기 제2 전압의 펄스 지속 시간은
서로 다른 광 소자의 동작 방법.

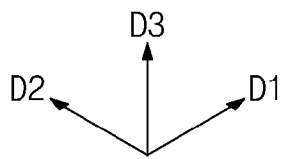
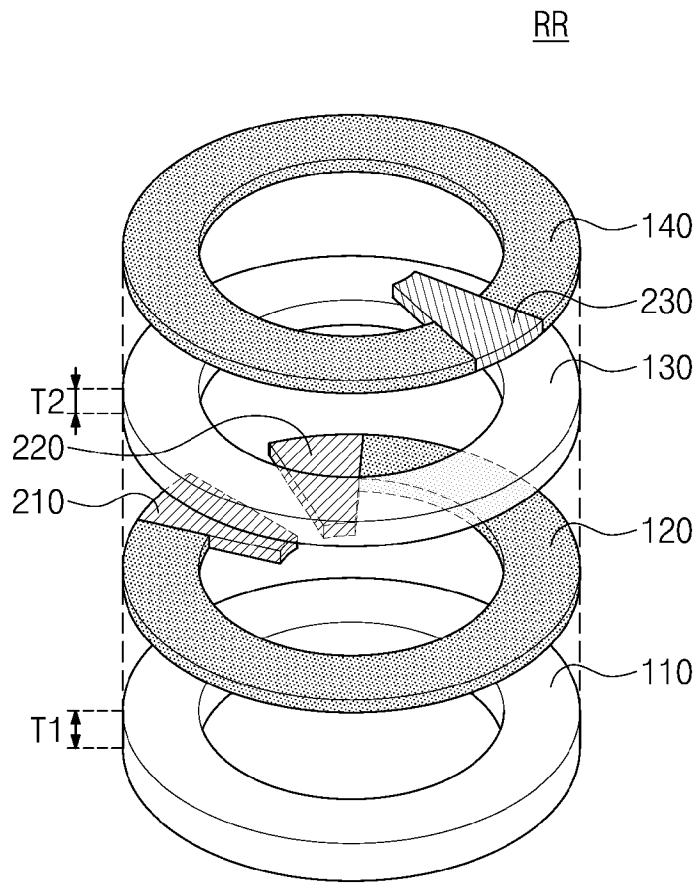
[청구항 14] 청구항 13에 있어서,
상기 제1 전압의 펄스 지속 시간은 상기 제2 전압의 펄스 지속 시간보다
큰 광 소자의 동작 방법.

- [청구항 15] 청구항 13에 있어서,
상기 제1 전압의 펄스 지속 시간 및 상기 제2 전압의 펄스 지속 시간의 차이는 10 fs 내지 10 ns인 광 소자의 동작 방법.
- [청구항 16] 청구항 11에 있어서,
상기 링 공진기로 광을 입사시키는 것;
상기 제3 전극에 제2 전압을 인가하는 것;
상기 제2 전극에 전류계를 연결하는 것; 및
상기 전류계로 상기 제2 그래핀층으로부터 상기 제2 절연층을 통해 상기 제1 그래핀층으로 전달되는 전자의 흐름을 측정하는 것을 더 포함하는 광 소자의 동작 방법.
- [청구항 17] 기판, 상기 기판 상에서 일 방향으로 연장되는 광 도파로, 및 상기 기판 상에서 차례로 적층된 제1 절연층, 제1 그래핀층, 제2 절연층 및 제2 그래핀층, 상기 제1 그래핀층에 연결된 제1 전극 및 제2 전극 및 상기 제2 그래핀층에 연결된 제3 전극을 포함하는 링 공진기를 포함하는 광 소자에 있어서,
상기 광 도파로로 입력광을 입력하는 것;
상기 제3 전극에 인가되는 전압을 제어하는 것; 및
상기 광 도파로로부터 출력광을 출력하는 것을 포함하되,
상기 제1 그래핀층, 상기 제2 그래핀층, 상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 링 형상 또는 일 부분이 개방된 링 형상을 갖고,
상기 제1 절연층 및 상기 제2 절연층은 육방정 질화 붕소(hexagonal boron nitride)를 포함하고,
상기 제1 및 제2 그래핀층들 및 상기 제1 및 제2 절연층들의 접합들은 반 데르 발스 이중 접합인 광 소자의 동작 방법.
- [청구항 18] 청구항 17에 있어서,
상기 제3 전극에 인가되는 전압을 제어하는 것은 상기 제3 전극에 주기적으로 전압을 인가하는 것인 광 소자의 동작 방법.
- [청구항 19] 청구항 18에 있어서,
상기 제3 전극에 인가되는 전압은 약 0.1 V 내지 30 V인 광 소자의 동작 방법.
- [청구항 20] 청구항 18에 있어서,
상기 제3 전극이 인가되지 않은 경우의 상기 제2 그래핀층의 페르미 레벨은 상기 제3 전극이 인가된 경우의 상기 제2 그래핀층의 페르미 레벨보다 높은 광 소자의 동작 방법.

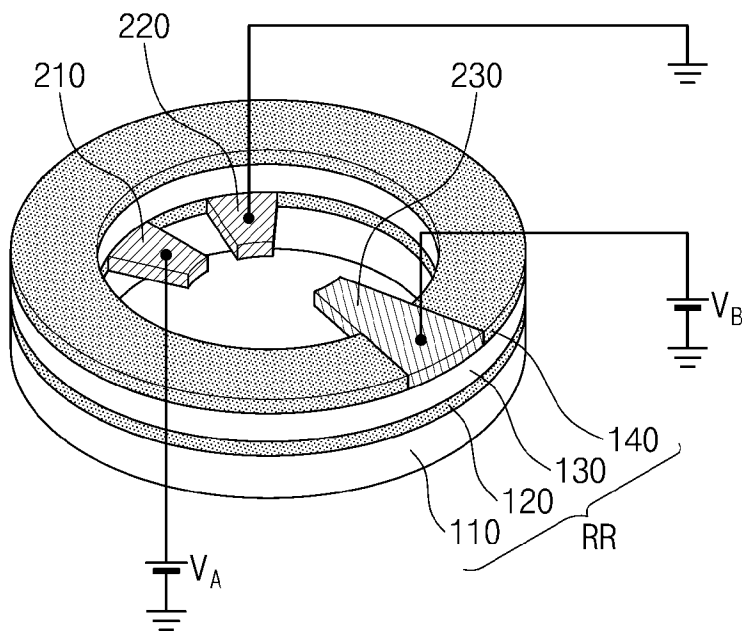
[도 1a]



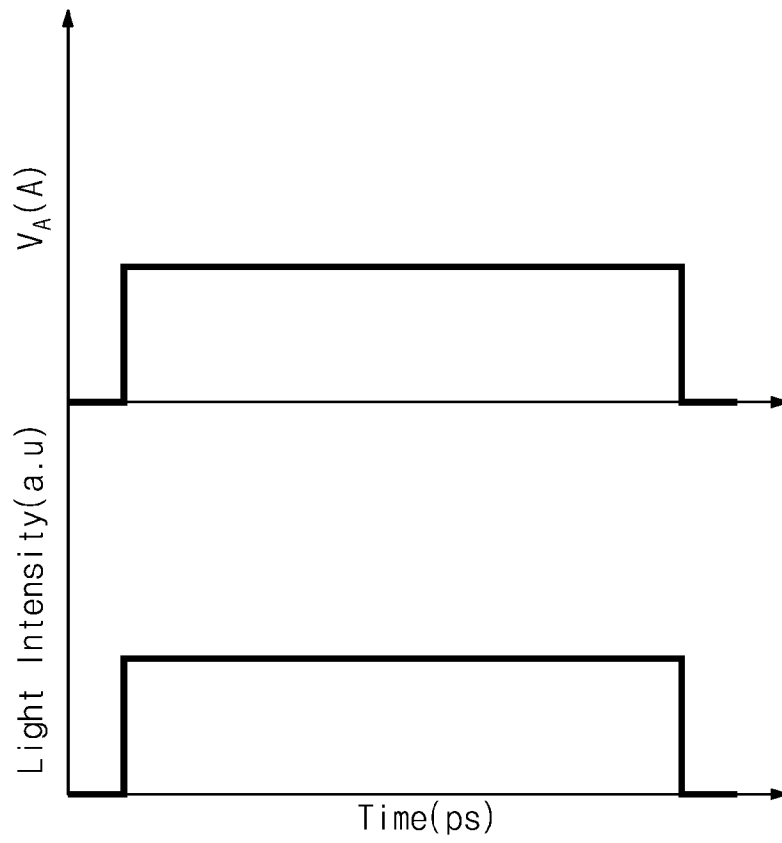
[도 1b]



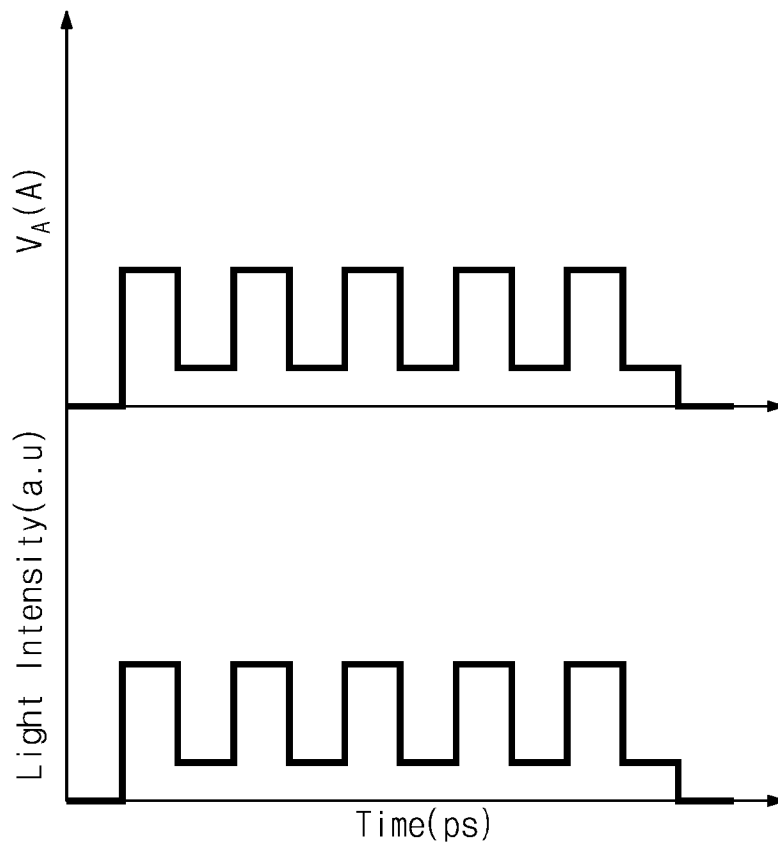
[도 2a]



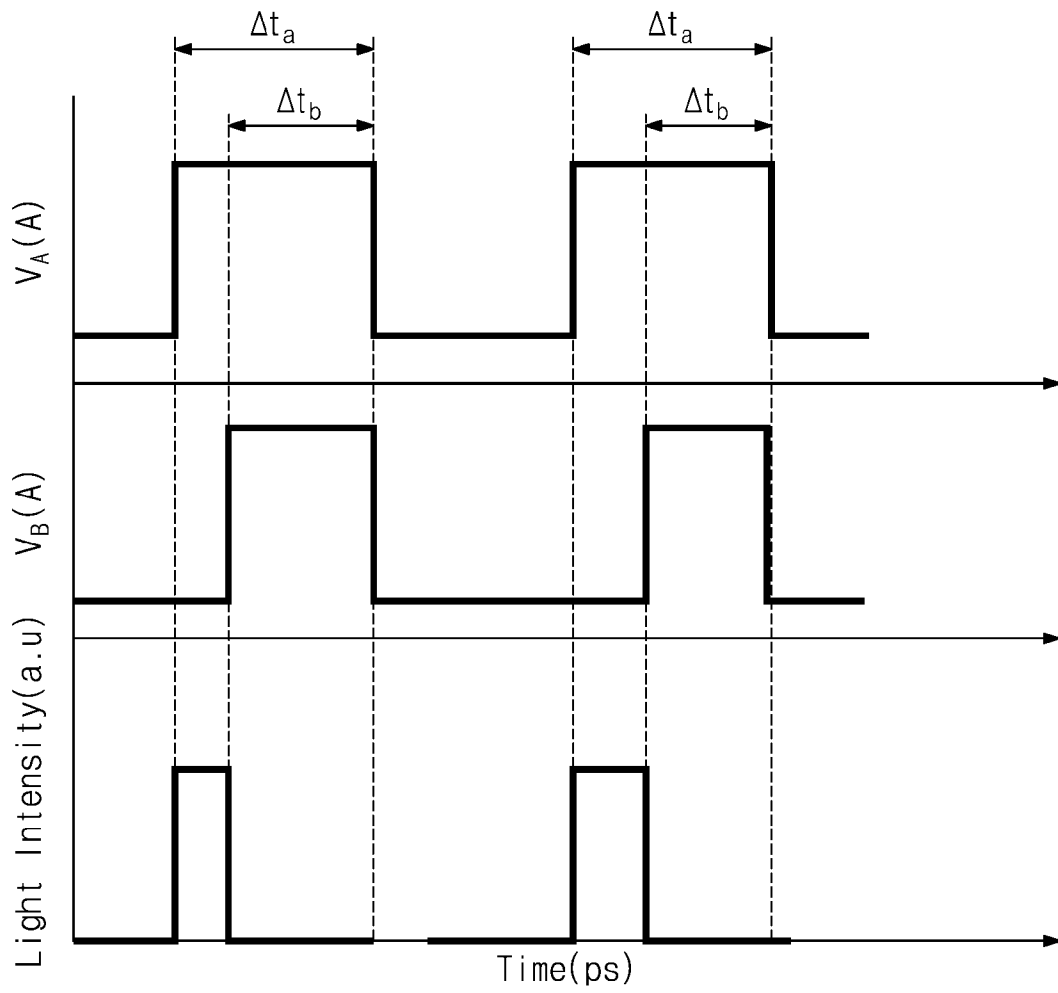
[도2b]



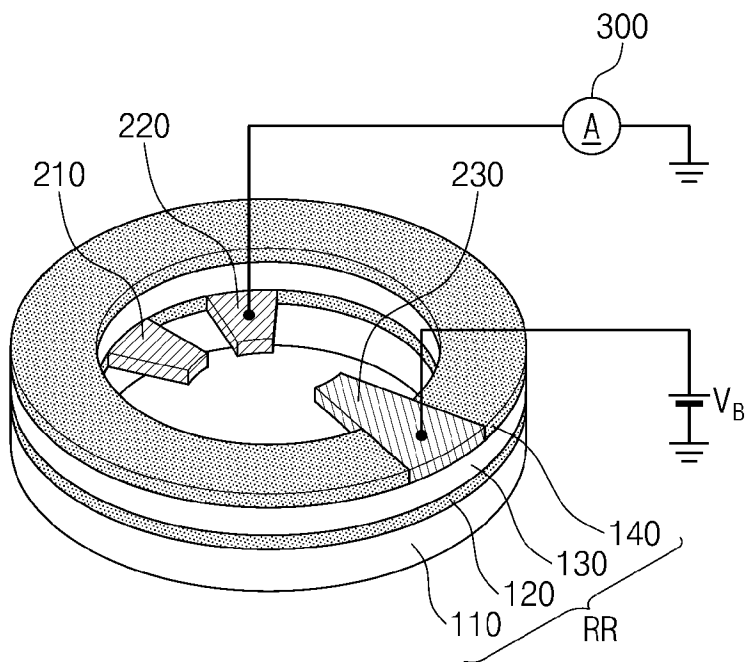
[도2c]



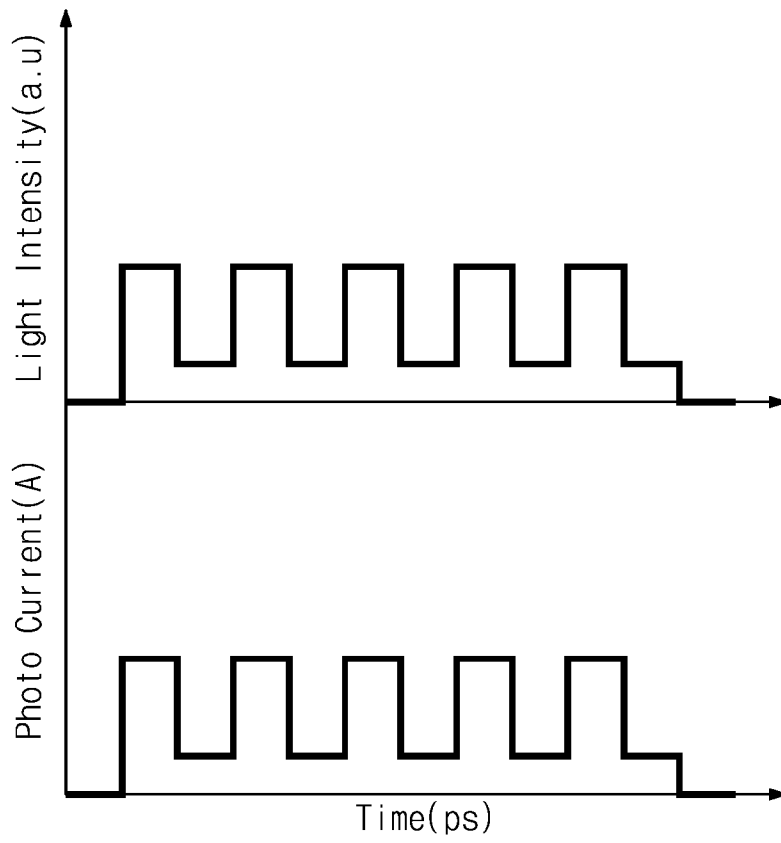
[도2d]



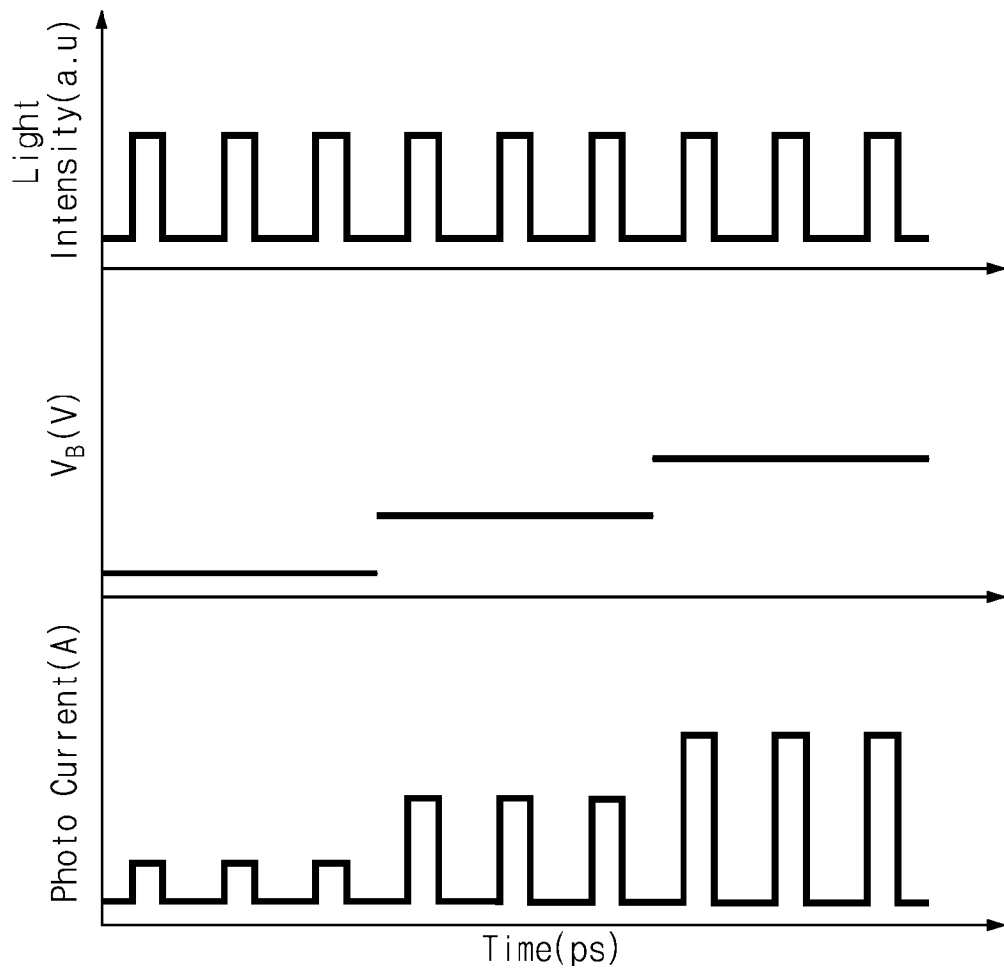
[도3a]



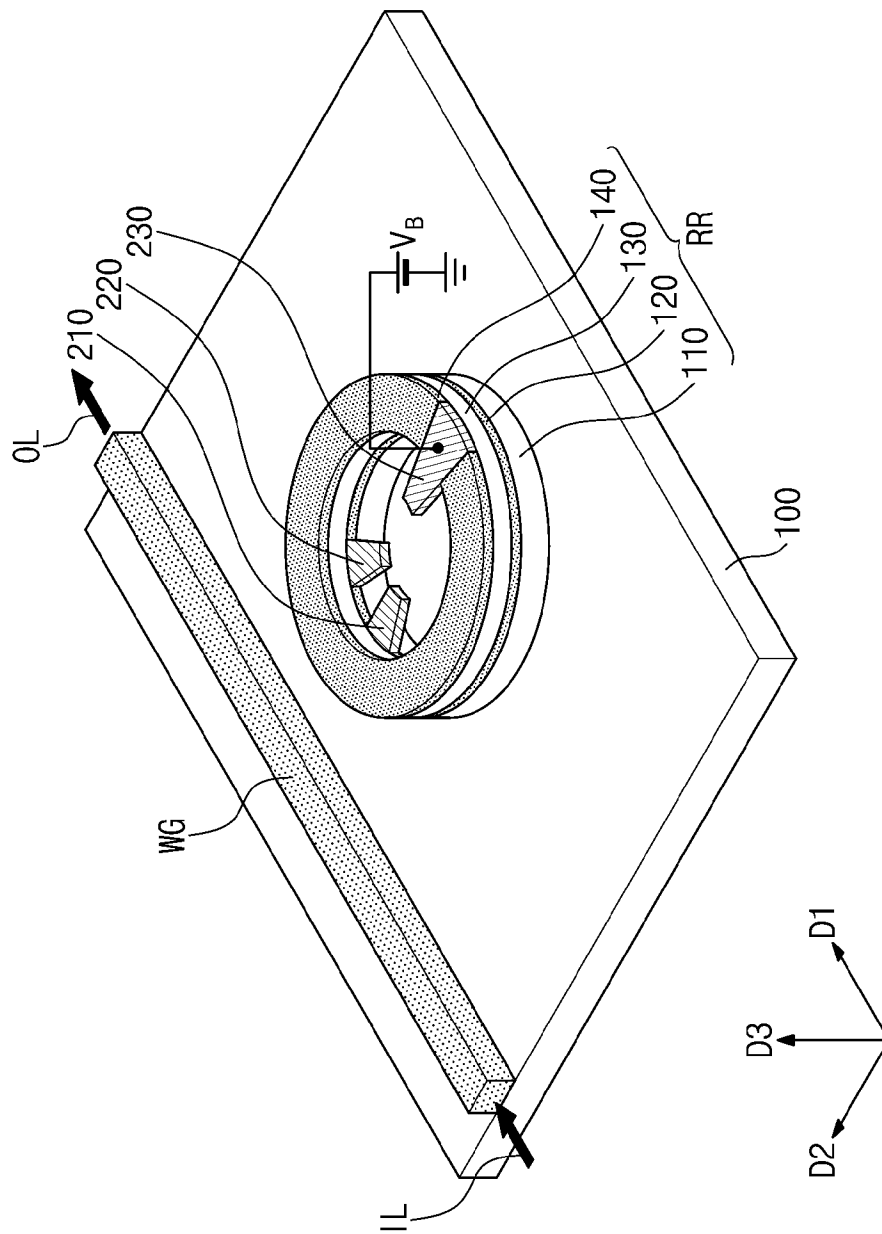
[도3b]



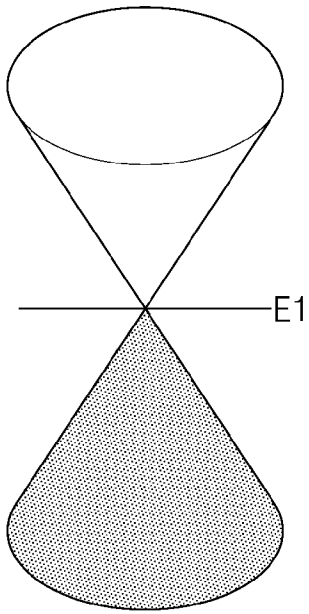
[도3c]



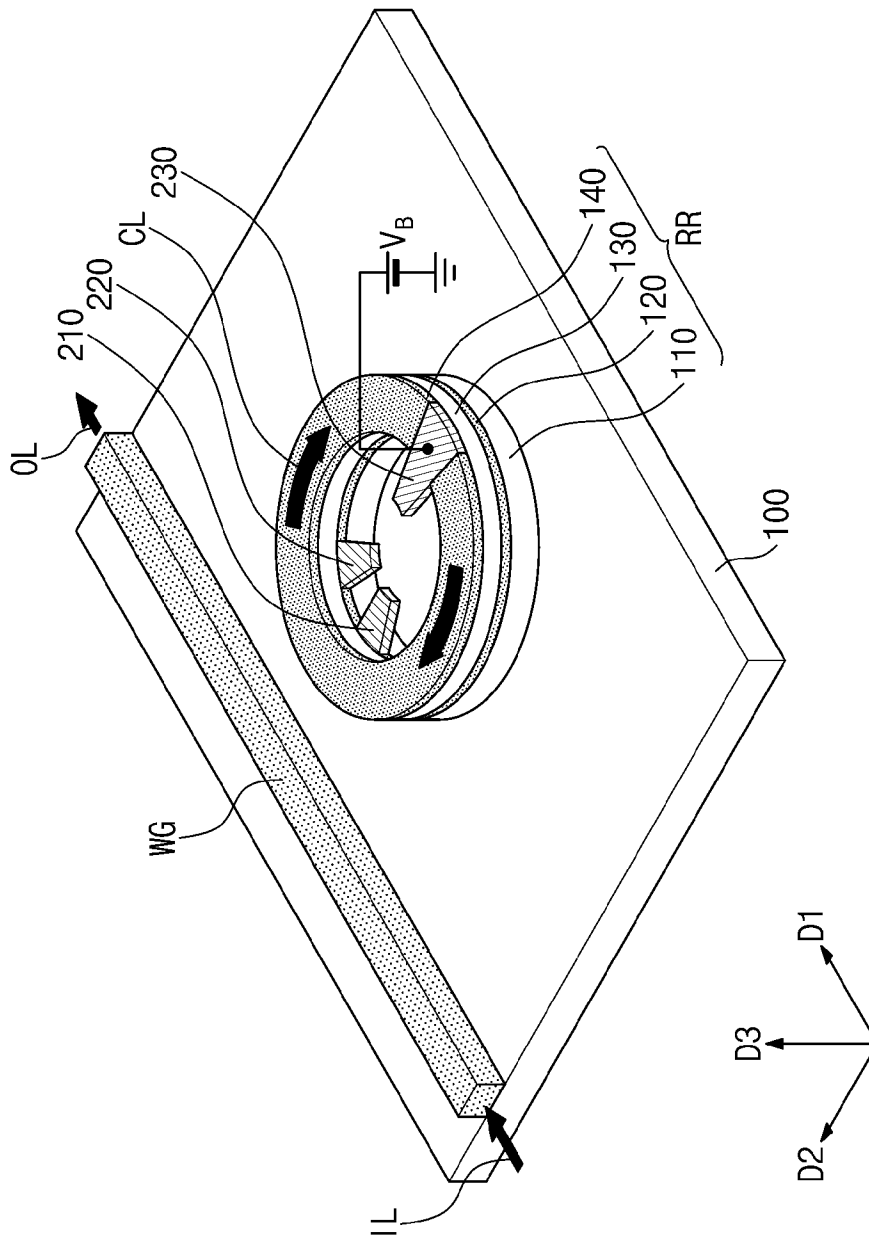
[도4a]



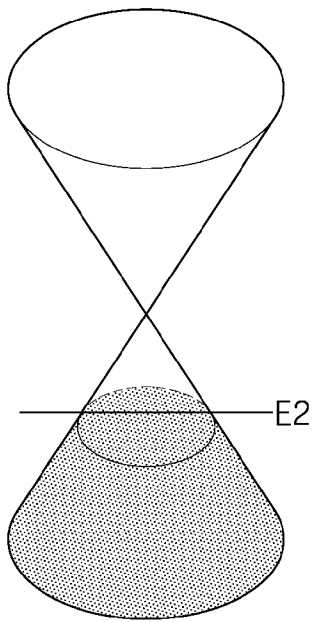
[도4b]



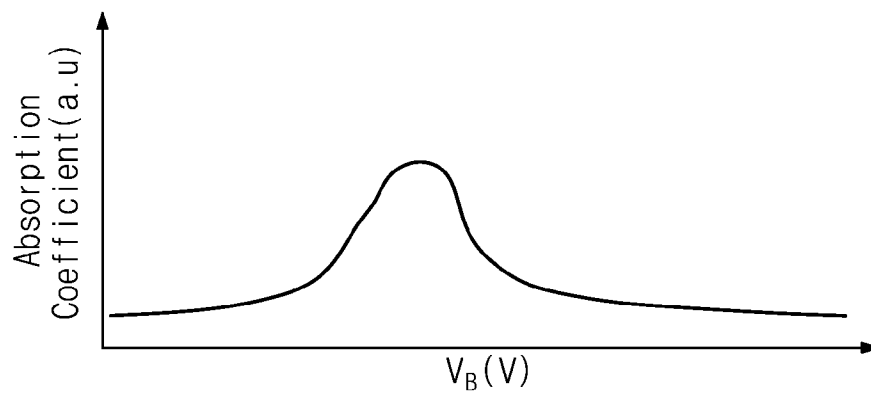
[도5a]



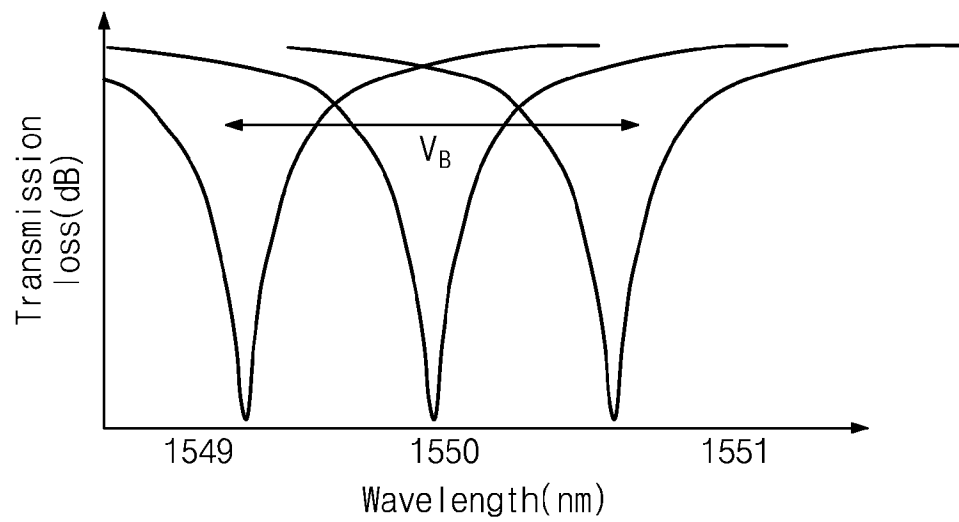
[도5b]

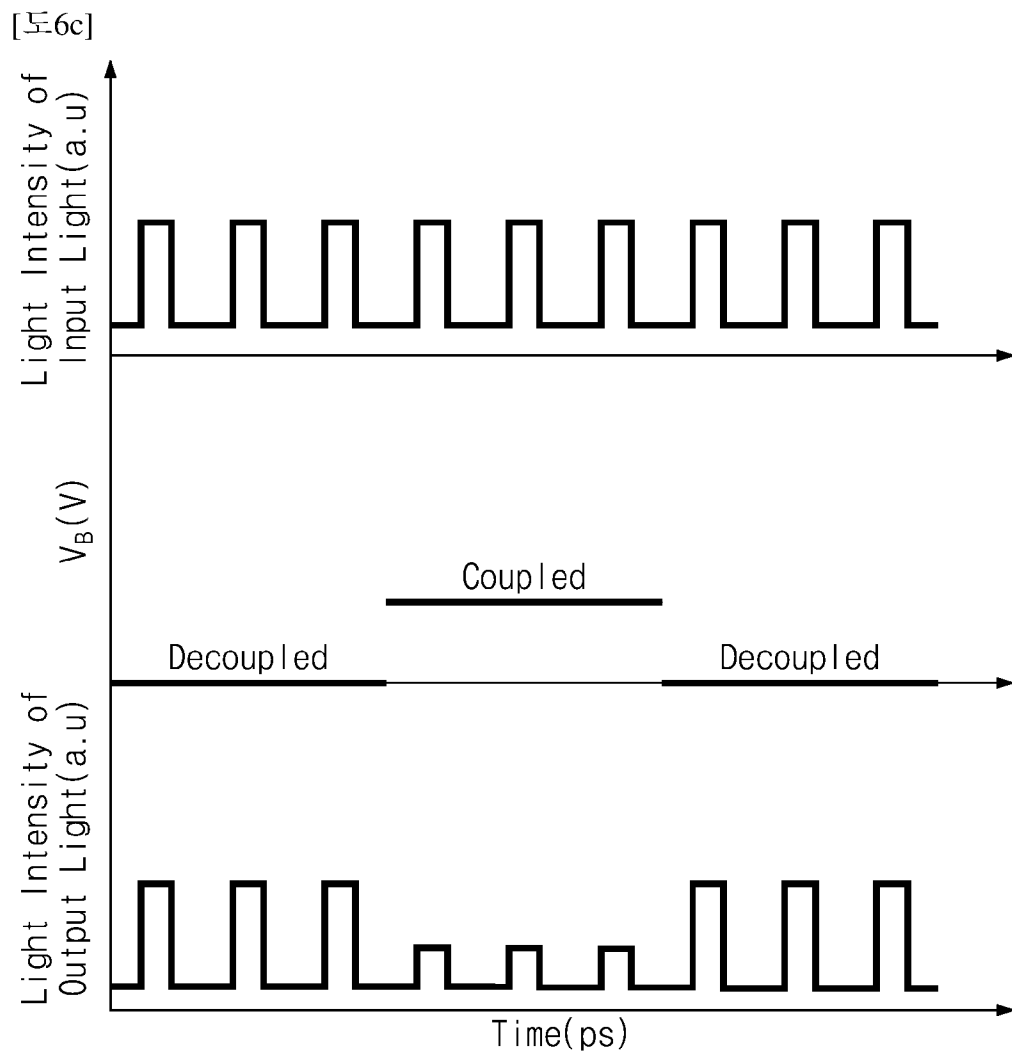


[도6a]

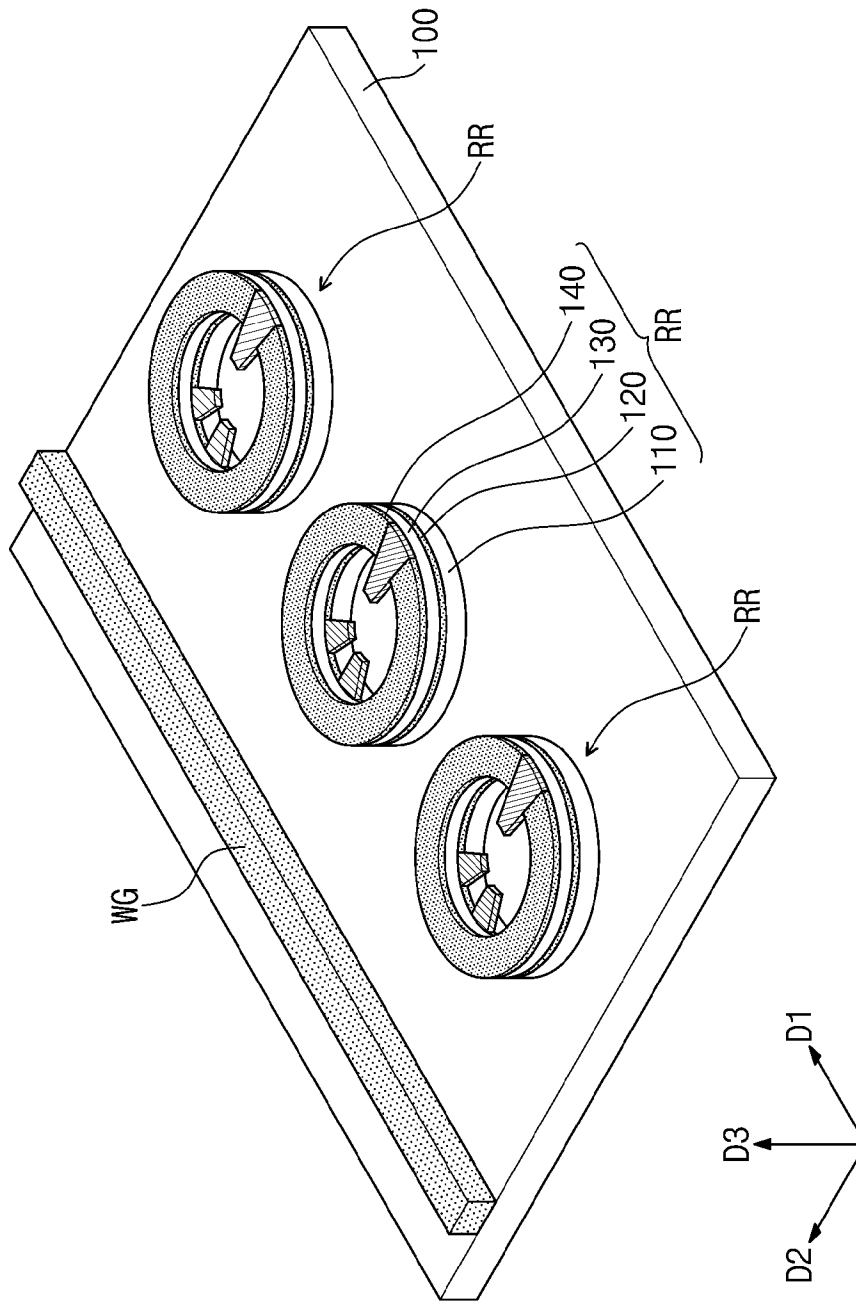


[도6b]

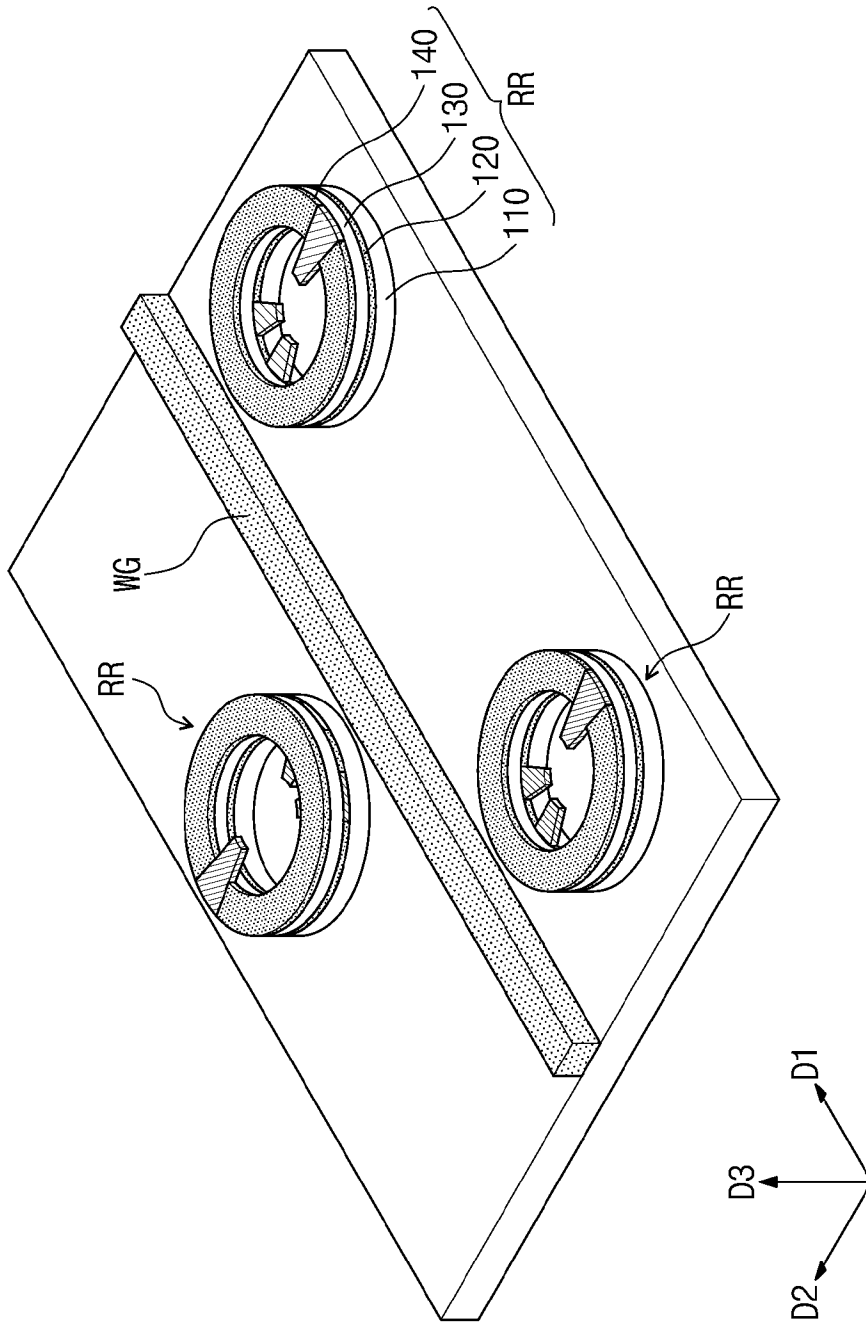




[도7]



[도8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/014587

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02B 6/12(2006.01)i; G02B 6/293(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) G02B 6/12(2006.01); G02B 6/036(2006.01); G02B 6/122(2006.01); G02F 1/03(2006.01); G02F 1/035(2006.01); G02F 1/313(2006.01); G06N 10/00(2019.01); G11C 11/44(2006.01); H01S 5/10(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: 공진기(resonator), 질화붕소(boron nitride), 그래핀(graphene), 전극(electrode)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 106990563 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 28 July 2017 (2017-07-28) See paragraphs [0029]-[0051] and figures 1-5.	1-20
A	US 2018-0284561 A1 (CORNELL UNIVERSITY) 04 October 2018 (2018-10-04) See paragraphs [0030]-[0042] and figures 2A-2E.	1-20
A	US 2019-0385673 A1 (TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT) 19 December 2019 (2019-12-19) See entire document.	1-20
A	KR 10-2014-0135014 A (ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS RESEARCH INSTITUTE) 25 November 2014 (2014-11-25) See entire document.	1-20
A	KR 10-2018-0134686 A (KOREA UNIVERSITY RESEARCH AND BUSINESS FOUNDATION) 19 December 2018 (2018-12-19) See entire document.	1-20
☐ 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 08 March 2022		Date of mailing of the international search report 10 March 2022
Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208 Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2021/014587

Patent document cited in search report				Publication date (day/month/year)		Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)	
CN	106990563	A	28 July 2017	CN	106990563	B	05 July 2019		
US	2018-0284561	A1	04 October 2018	EP	3215890	A1	13 September 2017		
				EP	3215890	B1	06 January 2021		
				US	10466571	B2	05 November 2019		
				WO	2016-073995	A1	12 May 2016		
US	2019-0385673	A1	19 December 2019	CN	110383303	A	25 October 2019		
				EP	3574455	A1	04 December 2019		
				NL	2018253	B1	07 August 2018		
				US	11170846	B2	09 November 2021		
				WO	2018-139928	A1	02 August 2018		
KR	10-2014-0135014	A	25 November 2014	KR	10-2037813	B1	30 October 2019		
				US	2014-0341496	A1	20 November 2014		
				US	9291836	B2	22 March 2016		
KR	10-2018-0134686	A	19 December 2018	KR	10-1997965	B1	17 October 2019		
				US	10574029	B2	25 February 2020		
				US	2018-0358779	A1	13 December 2018		

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G02B 6/12(2006.01)i; G02B 6/293(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G02B 6/12(2006.01); G02B 6/036(2006.01); G02B 6/122(2006.01); G02F 1/03(2006.01); G02F 1/035(2006.01); G02F 1/313(2006.01); G06N 10/00(2019.01); G11C 11/44(2006.01); H01S 5/10(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: 공진기(resonator), 질화붕소(boron nitride), 그래핀(graphene), 전극(electrode)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
X	CN 106990563 A (UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA) 2017.07.28 단락 [0029]-[0051] 및 도면 1-5	1-20
A	US 2018-0284561 A1 (CORNELL UNIVERSITY) 2018.10.04 단락 [0030]-[0042] 및 도면 2A-2E	1-20
A	US 2019-0385673 A1 (TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT) 2019.12.19 전체 문헌	1-20
A	KR 10-2014-0135014 A (한국전자통신연구원) 2014.11.25 전체 문헌	1-20
A	KR 10-2018-0134686 A (고려대학교 산학협력단) 2018.12.19 전체 문헌	1-20
☐ 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 2022년03월08일(08.03.2022)		국제조사보고서 발송일 2022년03월10일(10.03.2022)
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578		심사관 정종한 전화번호 +82-42-481-5642

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
CN 106990563 A	2017/07/28	CN 106990563 B	2019/07/05
US 2018-0284561 A1	2018/10/04	EP 3215890 A1	2017/09/13
		EP 3215890 B1	2021/01/06
		US 10466571 B2	2019/11/05
		WO 2016-073995 A1	2016/05/12
US 2019-0385673 A1	2019/12/19	CN 110383303 A	2019/10/25
		EP 3574455 A1	2019/12/04
		NL 2018253 B1	2018/08/07
		US 11170846 B2	2021/11/09
		WO 2018-139928 A1	2018/08/02
KR 10-2014-0135014 A	2014/11/25	KR 10-2037813 B1	2019/10/30
		US 2014-0341496 A1	2014/11/20
		US 9291836 B2	2016/03/22
KR 10-2018-0134686 A	2018/12/19	KR 10-1997965 B1	2019/10/17
		US 10574029 B2	2020/02/25
		US 2018-0358779 A1	2018/12/13