



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0092280
(43) 공개일자 2022년07월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01M 1/10 (2006.01) G01C 19/00 (2006.01)
G01P 15/02 (2006.01) G01P 15/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01M 1/10 (2013.01)
G01P 15/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0183900
(22) 출원일자 2020년12월24일
심사청구일자 2020년12월24일

(71) 출원인
국방과학연구소
대전광역시 유성구 북유성대로488번길 160 (수남동)
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
이동현
서울특별시 성북구 안암로 145(안암동5가)
박찬후
서울특별시 성북구 안암로 145(안암동5가)
(74) 대리인
유미특허법인

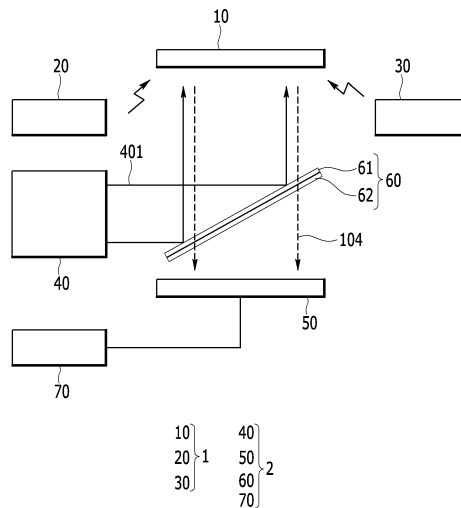
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치

(57) 요약

다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치는 자이로스코프의 역할을 하는 제1 영역, 가속도계의 역할을 하는 제2 영역, 자기장 센서 및 온도 센서의 역할을 하는 제3 영역을 포함하는 다이아몬드 나노 구조체를 포함하는 다이아몬드 센서부, 및 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역 각각의 질소 공공 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어서 회전각속도, 가속도, 자기장 및 온도를 측정하는 광학부를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01P 15/14 (2013.01)

G01P 9/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711109733
과제번호	2018R1A4A1024157
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기초 연구실 지원사업
연구과제명	고체 기반 큐빗 연구실
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2018.06.01~2021.08.31

명세서

청구범위

청구항 1

자이로스코프의 역할을 하는 제1 영역, 가속도계의 역할을 하는 제2 영역, 자기장 센서 및 온도 센서의 역할을 하는 제3 영역을 포함하는 다이아몬드 나노 구조체를 포함하는 다이아몬드 센서부; 및

상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역 각각의 질소 공극 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어서 회전 각속도, 가속도, 자기장 및 온도를 측정하는 광학부를 포함하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 다이아몬드 센서부는,

상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역을 포함하는 다이아몬드 결정;

상기 다이아몬드 결정에 마이크로파를 조사하는 마이크로파 안테나; 및

상기 다이아몬드 결정에 자기장을 형성하는 전자기 코일을 포함하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 3

제2 항에 있어서,

상기 다이아몬드 결정은,

기판;

상기 기판의 일면에 위치하는 베이스; 및

상기 베이스 위에 원추 형상으로 위치하는 콘을 포함하고,

상기 제1 영역은 상기 콘의 상단에 위치하고, 상기 제2 영역은 베이스에 위치하고, 상기 제3 영역은 상기 기판에 위치하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 4

제3 항에 있어서,

상기 베이스는 테이퍼 형상으로 상기 기판으로부터 돌출되어 있는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 5

제3 항에 있어서,

상기 기판에 평행한 평면상에서 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역은 서로 중첩하지 않는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 6

제3 항에 있어서,

상기 마이크로파 안테나 및 상기 전자기 코일은 상기 기판에 내장되어 있는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 7

제2 항에 있어서,

상기 광학부는,

상기 다이아몬드 결정의 질소 공극 중심을 들뜬상태로 만들기 위한 검출 레이저를 조사하는 레이저 소스;

상기 검출 레이저를 상기 다이아몬드 결정으로 굴절시키고, 상기 다이아몬드 결정에서 발생한 형광 이외의 광학 신호를 필터링하는 광학 소자; 및

상기 다이아몬드 결정의 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역에서 발생한 형광을 감지하는 광센서를 포함하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 광센서의 감광면은 상기 기관과 평행하게 배치되고, 상기 광센서는 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역 각각에서 발생한 형광이 서로 중첩하지 않게 감지하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 9

기관, 상기 기관의 일면으로부터 돌출된 베이스 및 상기 베이스로부터 연장되어 있는 콘을 포함하는 다이아몬드 결정;

상기 콘의 상단에 위치하고 질소 공극 중심을 포함하는 제1 영역;

상기 베이스에 위치하고 질소 공극 중심을 포함하는 제2 영역;

상기 기관에 위치하고 질소 공극 중심을 포함하는 제3 영역; 및

상기 제1 영역에서 발생한 형광을 감지하여 회전각속도를 측정하고, 상기 제2 영역에서 발생한 형광을 감지하여 가속도를 측정하고, 상기 제3 영역에서 발생한 형광을 감지하여 자기장 및 온도를 측정하는 광학부를 포함하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 다이아몬드 결정에 마이크로파를 조사하는 마이크로파 안테나; 및

상기 다이아몬드 결정에 자기장을 형성하는 전자기 코일을 더 포함하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 마이크로파 안테나 및 상기 전자기 코일은 상기 기관에 내장되어 있는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 12

제9 항에 있어서,

상기 기관에 평행한 평면상에서 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역은 서로 중첩하지 않는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 13

제9 항에 있어서,

상기 광학부는,

상기 다이아몬드 결정의 질소 공공 중심을 들뜬상태로 만들기 위한 검출 레이저를 조사하는 레이저 소스;

상기 검출 레이저를 상기 다이아몬드 결정으로 굴절시키고, 상기 다이아몬드 결정에서 발생한 형광 이외의 광학 신호를 필터링하는 광학 소자; 및

상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역에서 발생한 형광을 감지하는 광센서를 포함하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

청구항 14

제13 항에 있어서,

상기 광센서의 감광면은 상기 기관과 평행하게 배치되고, 상기 광센서는 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역 각각에서 발생한 형광이 서로 중첩하지 않게 감지하는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 관성 운동 측정 장치에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 가속도계, 자이로스코프, 지자계의 역할을 하는 다이아몬드 양자 결함을 활용하여 관성 운동과 관련된 파라미터를 측정하고 보정할 수 있는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 다이아몬드의 질소 공공 중심(Nitrogen-Vacancy center, NV center)은 다이아몬드 결정 내의 결정격자의 탄소 원자를 대체하는 질소 원자와 인접한 격자점의 공석으로 이루어진 원자 크기의 점 결함이다. 이 결함 구조는 상온에서도 고유한 양자역학적 특성을 보인다. 질소 공공 중심의 전자스핀은 $m_s = 0$ 의 에너지 레벨과 $m_s = +1$ 또는 $m_s = -1$ 의 에너지 레벨로 나뉜다. 이 전자스핀 구조는 외부 자기장, 전기장, 외력, 가속 및 회전에 대해 매우 민감하게 변화한다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 다이아몬드 질소 공공 중심의 전자스핀 구조의 변화를 통해 관성 운동을 측정할 수 있다. 예를 들어, 가속 및 선형 움직임에 따라 다이아몬드 결정에 응력이 작용하게 되면 질소 공공 중심의 에너지 레벨이 이동하거나 혼합하게 되어 이를 통해 센서의 움직임을 정밀하게 측정할 수 있다. 다이아몬드의 우수한 물리적 특성으로 인해 결함의 에너지 구조는 실온을 포함한 넓은 온도 범위에서 안정적으로 유지됨에 따라 일상생활에 응용하기 적합하다. 정리하자면, 다이아몬드의 질소 공공 중심은 높은 통합성, 안정성, 정밀도 및 원자 크기의 작은 부피를 갖는 동시에 다수의 관성 모션 파라미터를 측정할 수 있는 양자 결함 기반 센서를 실현 가능하게 한다.

[0004] 4차 산업 혁명 시대에 드론, 로봇, 무인 차량 등의 움직임을 정밀하게 측정할 수 있는 관성 센서에 대한 요구가 증가하고 있다. 차세대 관성 센서를 위해서는 높은 관성 민감도, 소형화 가능한 장치, 관성 운동과 관련된 여러 물리량(가속도, 회전각속도, 지자기장, 온도 등)을 동시에 측정하고 보정할 수 있는 관성 측정 기술이 필요하다.

[0005] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일 실시예에 따른 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치는 자이로스코프의 역할을 하는 제1 영역, 가속도계의 역할을 하는 제2 영역, 자기장 센서 및 온도 센서의 역할을 하는 제3 영역을 포함하는 다이아몬드 나노 구조체를 포함하는 다이아몬드 센서부, 및 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역 각각의 질소 공공 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어서 회전각속도, 가속도, 자기장 및 온도를 측정하는 광학부를 포

함한다.

- [0007] 상기 다이아몬드 센서부는, 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역을 포함하는 다이아몬드 결정, 상기 다이아몬드 결정에 마이크로파를 조사하는 마이크로파 안테나, 및 상기 다이아몬드 결정에 자기장을 형성하는 전자기 코일을 포함할 수 있다.
- [0008] 상기 다이아몬드 결정은, 기관, 상기 기관의 일면에 위치하는 베이스, 및 상기 베이스 위에 원추 형상으로 위치하는 콘을 포함하고, 상기 제1 영역은 상기 콘의 상단에 위치하고, 상기 제2 영역은 베이스에 위치하고, 상기 제3 영역은 상기 기관에 위치할 수 있다.
- [0009] 상기 베이스는 테이퍼 형상으로 상기 기관으로부터 돌출되어 있을 수 있다.
- [0010] 상기 기관에 평행한 평면상에서 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역은 서로 중첩하지 않을 수 있다.
- [0011] 상기 마이크로파 안테나 및 상기 전자기 코일은 상기 기관에 내장되어 있을 수 있다.
- [0012] 상기 광학부는, 상기 다이아몬드 결정의 질소 공극 중심을 들뜬상태로 만들기 위한 검출 레이저를 조사하는 레이저 소스, 상기 검출 레이저를 상기 다이아몬드 결정으로 굴절시키고, 상기 다이아몬드 결정에서 발생한 형광 이외의 광학 신호를 필터링하는 광학 소자, 및 상기 다이아몬드 결정의 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역에서 발생한 형광을 감지하는 광센서를 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 광센서의 감광면은 상기 기관과 평행하게 배치되고, 상기 광센서는 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역 각각에서 발생한 형광이 서로 중첩하지 않게 감지할 수 있다.
- [0014] 본 발명의 다른 실시예에 따른 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치는 기관, 상기 기관의 일면으로부터 돌출된 베이스 및 상기 베이스로부터 연장되어 있는 콘을 포함하는 다이아몬드 결정, 상기 콘의 상단에 위치하고 질소 공극 중심을 포함하는 제1 영역, 상기 베이스에 위치하고 질소 공극 중심을 포함하는 제2 영역, 상기 기관에 위치하고 질소 공극 중심을 포함하는 제3 영역, 및 상기 제1 영역에서 발생한 형광을 감지하여 회전 각속도를 측정하고, 상기 제2 영역에서 발생한 형광을 감지하여 가속도를 측정하고, 상기 제3 영역에서 발생한 형광을 감지하여 자기장 및 온도를 측정하는 광학부를 포함한다.
- [0015] 상기 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치는 상기 다이아몬드 결정에 마이크로파를 조사하는 마이크로파 안테나, 및 상기 다이아몬드 결정에 자기장을 형성하는 전자기 코일을 더 포함할 수 있다.
- [0016] 상기 마이크로파 안테나 및 상기 전자기 코일은 상기 기관에 내장되어 있을 수 있다.
- [0017] 상기 기관에 평행한 평면상에서 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역은 서로 중첩하지 않을 수 있다.
- [0018] 상기 광학부는, 상기 다이아몬드 결정의 질소 공극 중심을 들뜬상태로 만들기 위한 검출 레이저를 조사하는 레이저 소스, 상기 검출 레이저를 상기 다이아몬드 결정으로 굴절시키고, 상기 다이아몬드 결정에서 발생한 형광 이외의 광학 신호를 필터링하는 광학 소자, 및 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역에서 발생한 형광을 감지하는 광센서를 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 광센서의 감광면은 상기 기관과 평행하게 배치되고, 상기 광센서는 상기 제1 영역, 상기 제2 영역 및 상기 제3 영역 각각에서 발생한 형광이 서로 중첩하지 않게 감지할 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 다이아몬드 질소 공극 중심을 이용한 관성 운동 측정 장치는 다양한 이점을 지닌다. 예를 들자면, 가속도 센서로써 응력이나 힘에 대한 높은 민감도를 갖고($< 10^{-7}$ strain/Hz^{1/2}, < 1 aN/Hz^{1/2}), 자이로센서로써 회전각에 대한 높은 민감도를 가지며($< 10^{-4}$ degree/s*Hz^{1/2}), 지자기장 센서로써 높은 자기장 민감도를 가지고(< 1 pT/Hz^{1/2}), 온도에 민감하여 온도 변화가 있는 상황에서 안정적으로 관성 센서의 역할을 할 수 있다(< 100 mK/Hz^{1/2}). 또한, 다이아몬드 질소 공극 중심을 이용한 관성 측정 장치는 상온에서의 사용에 적합하며 그 크기가 작아 다양한 분야에 적용될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치를 나타내는 블록도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다이아몬드 결정 구조를 나타내는 개략도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다이아몬드 결정 구조의 투영면을 나타내는 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예들에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예들에 한정되지 않는다.
- [0023] 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다.
- [0024] 또한, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0025] 이하, 도 1 내지 3을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치에 대하여 상세히 설명하도록 한다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치를 나타내는 블록도이다. 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 다이아몬드 결정 구조를 나타내는 개략도이다. 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 다이아몬드 결정 구조의 투영면을 나타내는 개략도이다.
- [0027] 도 1 내지 3을 참조하면, 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치는 다이아몬드 센서부(1) 및 광학부(2)를 포함한다.
- [0028] 다이아몬드 센서부(1)는 다이아몬드의 나노 구조체 내부에서 서로 인접하여 위치한 다수의 질소 공공 중심(Nitrogen-Vacancy center, NV center), 즉 질소 공공 앙상블(NV ensemble)을 이용하여 관성 운동과 관련된 가속도, 회전각속도, 지자기장, 온도 등을 측정할 수 있는 가속도계, 자이로스코프, 자기장 센서 및 온도 센서의 역할을 한다. 다이아몬드 센서부(1)는 후술하는 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)을 포함하며, 제1 영역(111)이 자이로스코프의 역할을 하고, 제2 영역(112)이 가속계의 역할을 하고, 제3 영역(113)이 자기장 센서 및 온도 센서의 역할을 할 수 있다.
- [0029] 광학부(2)는 레이저를 이용하여 다이아몬드의 질소 공공 중심을 바닥상태에서 들뜬상태로 만들고, 질소 공공 중심이 바닥상태로 돌아가면서 방출되는 넓은 파장대의 형광 빛을 측정함으로써 질소 공공 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어내는 역할을 한다. 광학부(2)는 제1 영역(111)의 질소 공공 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어서 회전각속도를 측정하고, 제2 영역(112)의 질소 공공 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어서 가속도를 측정하고, 제3 영역(113)의 질소 공공 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어서 자기장 및 온도를 측정할 수 있다.
- [0030] 먼저, 다이아몬드 센서부(1)에 대하여 설명한다. 다이아몬드 센서부(1)는 다이아몬드 결정(10), 마이크로파 안테나(20) 및 전자기 코일(30)을 포함할 수 있다.
- [0031] 다이아몬드 결정(10)은 기판(101), 베이스(102) 및 콘(103)을 포함한다.
- [0032] 기판(101)은 제1 방향(x) 및 제2 방향(y)에 평행한 판(plate) 형상일 수 있다. 기판(101)은 평면상에서 1mm×1mm의 크기를 가질 수 있다. 기판(101)은 제3 방향(z)으로 100 μ m의 두께를 가질 수 있다.
- [0033] 베이스(102)는 기판(101)의 일면에 위치할 수 있다. 베이스(102)는 테이퍼(tapered) 형상(또는 원뿔(cone) 형상)으로 기판(101) 상에 위치할 수 있다. 다시 말해, 베이스(102)는 기판(101)의 일면으로부터 제3 방향(z)으로 돌출되어 있을 수 있다. 기판(101) 상에는 복수의 베이스(102)가 배열될 수 있다. 복수의 베이스(102)는 기판(101) 상에 일정한 간격으로 배열될 수 있다.
- [0034] 콘(103)은 역테이퍼(reversed tapered) 형상(또는 원추 형상)으로 베이스(102) 위에 위치할 수 있다. 즉, 콘(103)은 베이스(102)로부터 대략 제3 방향(z)으로 연장되어 형성될 수 있다. 복수의 콘(103) 각각이 복수의 베이스(102) 각각의 위에 위치할 수 있다.
- [0035] 다이아몬드 결정(10)은 콘(103)의 상단에 위치하는 제1 영역(111), 베이스(102)에 위치하는 제2 영역(112) 및 기판(101)에 위치하는 제3 영역(113)을 포함한다. 제3 영역(113)은 기판(101) 상에서 제1 영역(111) 및 제2 영역

역(112)과 중첩하지 않는 영역으로 선정된다. 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113) 각각은 복수의 질소 공극 중심(NV center)을 포함한다. 질소 공극 중심은 다이아몬드 결정(10) 내의 결정격자의 탄소 원자를 대체하는 질소 원자와 인접한 격자점의 공석으로 이루어진 원자 크기의 점 결함이다.

[0036] 다이아몬드 결정(10)은 성장 및 증착 공정을 통하여 형성될 수 있다. 즉, 성장 및 증착 공정을 통하여 기판(101), 기판(101) 상에 복수의 베이스(102) 및 복수의 콘(103)이 형성될 수 있다. 예를 들어, CVD(chemical vapor deposition) 증착 방법을 이용하여 불순물 1ppb 이하의 고순도 다이아몬드 단결정을 증착하여 다이아몬드 결정(10)을 형성할 수 있다. 이때, 델타 도핑(delta-doping) 증착 방법 또는 증착 중 질소 이온 주입(Nitrogen implantation)을 통해 증착 방향으로의 특정 위치에 선별적으로 질소 공극 중심을 생성시킬 수 있다. 결정 증착이 완료된 이후 반도체 공정을 통해 다이아몬드를 식각하여 복수의 베이스(102) 및 복수의 콘(103)을 제작할 수 있다. 이러한 공정으로 다이아몬드 결정(10)의 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)에 독립적인 질소 공극 중심을 형성할 수 있다.

[0037] 다이아몬드 결정(10)의 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113) 각각에 존재하는 질소 공극 중심은 서로 다른 관성 운동 파라미터를 측정하기 위해 사용될 수 있다.

[0038] 베이스(102)는 기판(101)과 콘(103)의 접합부에 위치한다. 즉, 베이스(102)의 하면은 기판(101)에 접촉하고, 베이스(102)의 상면은 콘(103)에 접촉한다. 베이스(102)는 기판(101)과 콘(103)의 접합부에 위치함에 따라 베이스(102)에 위치한 질소 공극 중심은 외부 가속 하에서 더 큰 응력을 받는다. 응력은 질소 공극 중심의 에너지 레벨에 영향을 주게 된다. 스핀 에코(spin echo) 방법을 사용하여 제2 영역(112)의 에너지 레벨의 변화를 감지하면 가속 및 선형 모션 매개 변수가 도출될 수 있다.

[0039] 제1 영역(111)이 콘(103)의 상단에 위치하므로, 제1 영역(111)은 회전운동의 중심에서 더욱 멀리 위치하게 된다. 따라서 제1 영역(111)은 회전운동에서 더욱 큰 각운동량을 생성할 수 있다. 제1 영역(111)의 질소 공극 중심은 회전운동 동안 각운동량의 총량을 보존하기 위하여 전자기 코일(30)의 일정한 자기장에 대해 이동하여 에너지 레벨의 추가적인 위상을 얻을 수 있다. 핵스핀(nuclear spin)의 위상 정보를 측정함으로써 회전각속도가 도출될 수 있다. 회전운동으로 얻어진 추가적인 위상은 스핀 에코 방법을 사용하여 측정될 수 있다.

[0040] 기판(101) 상에 위치하는 제3 영역(113)의 질소 공극 중심은 지자기장 및 온도 변화를 측정하는데 사용될 수 있다. 제3 영역(113)의 질소 공극 중심은 운동에 영향을 받지 않으며, 지자기장의 세기는 제3 영역(113)의 질소 공극 중심의 에너지 레벨 차이에 비례한다. 따라서 지자기장의 절대값은 연속파 전자스핀 공명(Continuous Wave Electron Spin Resonance, CWESR) 신호의 두 개의 덩 사이의 거리에 의해 측정될 수 있다. 지자기장 정보는 위치 결정을 위한 절대 위치 정보로 사용될 수 있다. 제3 영역(113)의 질소 공극 중심의 ZFS(zero field splitting)의 진동수 이동을 측정함으로써 온도 변화가 측정될 수 있다.

[0041] 도 3에 예시한 바와 같이, 기판(101)에 평행한 가상의 투영면(120)에 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)의 투영(121)이 형성될 수 있다. 투영면(120)은 기판(101)과 평행한 면일 수 있다. 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)의 투영(121)은 투영면(120)에서 서로 겹치지 않는다. 즉, 제1 방향(x) 및 제2 방향(y)에 평행한 평면상에서 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)은 서로 중첩하지 않는다. 투영면(120)에서 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)의 이미지가 서로 중첩하지 않으므로, 평면상에서 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)은 동시에 캡처될 수 있다. 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)은 상호 간섭 없이 형광(104)을 각각 방출할 수 있으므로, 다이아몬드 결정(10)은 가속도, 회전각속도, 지자기장 등의 관성 운동 파라미터를 동시에 개별적으로 측정하는데 사용될 수 있다.

[0042] 마이크로파 안테나(20)는 다이아몬드 결정(10)에 마이크로파를 조사하고, 전자기 코일(30)은 다이아몬드 결정(10)에 일정한 자기장을 형성한다.

[0043] 다음으로, 광학부(2)에 대하여 설명한다. 광학부(2)는 레이저 소스(40), 광센서(50), 광학 소자(60) 및 신호 처리기(70)를 포함할 수 있다.

[0044] 레이저 소스(40)는 다이아몬드 결정(10)의 질소 공극 중심을 들뜬상태로 만들기 위한 검출 레이저(401)를 조사한다. 레이저 소스(40)는 532nm의 레이저 다이오드를 포함할 수 있다. 검출 레이저(401)는 광학 소자(60)에 의해 굴절되어 다이아몬드 결정(10)에 조사된다. 검출 레이저(401)가 조사되면 다이아몬드 결정(10) 내의 질소 공극 중심의 전자스핀 공명에 의해 형광(104)이 발생한다.

[0045] 광학 소자(60)는 빔 스플리터(61) 및 필터(62)를 포함할 수 있다. 빔 스플리터(61)는 레이저 소스(40)에서 조사되는 검출 레이저(401)를 다이아몬드 결정(10)으로 굴절시킨다. 필터(62)는 다이아몬드 결정(10)에서 발생한 형

광(104)을 투과시키고 형광(104) 이외의 광학 신호를 필터링한다. 필터(62)는 밴드-에지(band-edge) 필터를 포함할 수 있다.

- [0046] 광센서(50)는 다이아몬드 결정(10)의 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)의 질소 공극 중심에서 발생된 형광(104)을 감지한다. 광센서(50)의 감광면은 투영면(120)과 평행하게 배치되어 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113) 각각에서 발생한 형광(104)이 서로 중첩되지 않게 감지할 수 있다. 즉, 광센서(50)의 감광면은 기관(101)과 평행하게 배치될 수 있다. 광센서(50)는 메가 픽셀 CCD(charge coupled device) 카메라를 포함할 수 있다.
- [0047] 신호 처리기(70)는 광센서(50)에서 감지된 결과를 처리한다. 신호 처리기(70)는 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)에서 감지된 결과를 바탕으로 대응하는 관성 운동 파라미터를 계산할 수 있다.
- [0048] 도 1에서는 마이크로파 안테나(20)와 전자기 코일(30)이 다이아몬드 결정(10)과 별도로 마련되는 것으로 예시하였으나, 실시예에 따라 시스템의 통합성과 신뢰성을 더욱 향상시키기 위해 마이크로파 안테나(20)와 전자기 코일(30)은 다이아몬드 결정(10)의 기관(101)에 내장될 수 있다.
- [0049] 이하, 다이아몬드 양자 결합 기반 관성 운동 측정 장치를 이용하여 관성 운동을 측정하는 방법에 대하여 설명한다.
- [0050] 레이저 소스(40)가 검출 레이저(401)를 조사한다. 검출 레이저(401)는 532nm 레이저일 수 있다. 검출 레이저(401)는 광학 소자(60)에 의해 굴절되어 다이아몬드 결정(10)에 조사되고, 다이아몬드 결정(10)의 질소 공극 중심은 검출 레이저(401)에 의해 바닥상태에서 들뜬상태로 전이된다. 들뜬상태로 전이된 질소 공극 중심은 640nm 내지 800nm 파장의 형광(104)을 방출하면서 바닥상태로 돌아간다.
- [0051] 다이아몬드 결정(10)의 질소 공극 중심에서 방출된 형광(104)은 광학 소자(60)를 통해 광센서(50)에 입사된다. 광센서(50)는 다이아몬드 결정(10)의 제1 영역(111), 제2 영역(112) 및 제3 영역(113)의 질소 공극 중심에서 발생된 형광(104)을 감지한다.
- [0052] 광학 과정은 스핀 상태를 바꾸지 아니하므로 들뜬상태의 $|e, ms = 0\rangle$ 상태와 $|e, ms = \pm 1\rangle$ 상태는 각각 바닥상태의 $|g, ms = 0\rangle$ 상태와 $|g, ms = \pm 1\rangle$ 상태로 돌아간다. 이에 더해, $|e, ms = \pm 1\rangle$ 상태는 준안정상태를 거쳐서 $|g, ms = 0\rangle$ 상태로 돌아가기도 하며, 이 과정은 일반적인 광학 과정보다 시간이 더 소요된다. 각각의 들뜬상태에서 발생하는 형광(104)의 세기는 30%만큼 상이하므로, 검출 레이저(401)가 조사된 후 초기 단계에서 형광(104)의 세기에 따라 $ms = 0$ 상태 또는 $ms = \pm 1$ 상태를 구별할 수 있다.
- [0053] $ms = \pm 1$ 인 들뜬상태에서 $ms = 0$ 인 바닥상태로의 전이 채널이 존재하기 때문에 연속적으로 532nm 레이저를 조사하는 것은 질소 공극 중심을 $ms = 0$ 인 바닥상태로 만드는 데에도 사용된다. 이때의 전이 채널은 빛을 방출하지 않는데, 그 결과 바닥상태에서의 스핀에 따라 전이 시에 발생하는 형광(104)의 세기가 변동된다($ms = \pm 1$ 일 때가 $ms = 0$ 일 때보다 약 30% 정도 어둡다). 따라서 형광(104)의 세기를 측정함으로써 질소 공극 중심의 스핀 상태를 광학적으로 읽어낼 수 있고, 이것을 광학적으로 검출된 자기 공명(optically detected magnetic resonance, ODMR)이라고 부른다.
- [0054] 전자기 코일(30)에 의해 생성된 일정한 자기장은 제이만 효과(Zeeman effect)로 $ms = -1$ 및 $ms = +1$ 상태를 분리시킨다. 즉, 전자기 코일(30)에 의해 생성된 자기장에 의해 $ms = -1$ 및 $ms = +1$ 상태가 구분될 수 있다. 제이만 효과는 외부 자기장에 의하여 원자나 분자의 방출 스펙트럼 선 가운데 일부가 여러 개의 선으로 갈라지는 현상이다.
- [0055] 마이크로파 안테나(20)로부터의 마이크로파가 다이아몬드 결정(10)에 조사될 때 전자스핀 공명을 측정할 수 있으며, 광학적으로 검출된 자기 공명(ODMR) 방법으로 마이크로파의 진동수를 조정할 수 있다. 마이크로파의 진동수가 $ms = 0$ 상태와 $ms = \pm 1$ 상태의 에너지 레벨 차이와 일치할 경우 형광(104)의 세기가 낮아진다. 외부 자기장이 없을 때의 에너지 레벨 간격(zero field splitting)인 $D = 2.87$ GHz에서 뺄이 생기고, 외부 자기장이 존재할 경우 제이만 효과에 의해 $ms = -1$ 과 $ms = +1$ 상태의 에너지 레벨이 달라지면서 두 에너지 레벨의 에너지 차이에 해당하는 간격을 갖는 두 개의 뺄이 생긴다.
- [0056] 에너지 레벨 이동의 측정에는 연속적인 마이크로파를 사용하는 연속파 전자스핀 공명(CWESR)이나 램지(Ramsey), 스핀 에코 등 다양한 마이크로파 펄스 시퀀스를 사용할 수 있다. 연속파 전자스핀 공명(CWESR)에 비해 램지는 검출 레이저(401)를 조사하고 들뜬상태를 만들어 신호를 감지할 때 간섭이 없어 측정 시간의 한계가 전자스핀의 디코히런스(decoherence) 시간 T^*_2 에 의해 결정되며 이 시간은 상온에서 수 마이크로초 정도이다. 그러나 램지

는 측정 신호가 일정한 자기장 자체의 변동에 영향을 받는 단점이 있다. 스핀 에코는 램지에 Pi 펄스를 추가하여 외부 자기장 변동의 간섭을 제거한 것으로 측정 시간의 한계가 전자스핀의 AC 디코헤런스 시간 T_2 에 의해 결정되고, 이는 상온에서 수백 마이크로초에 달할 수 있다.

[0057] 본 발명의 실시예에 따른 질소 공극 중심의 양자 효과를 기반으로 한 소형의 다이아몬드 양자 결함 기반 관성 운동 측정 장치는 다양한 선형 운동, 회전 운동 및 절대 위치의 고정밀 측정을 동시에 달성할 수 있으며, 응력 측정 정확도 $< 1 \text{ nN/Hz}^{1/2}$, 각도 측정 정확도 $< 10^{-4} \text{ degree/s*Hz}^{1/2}$, 지자기장 측정 정확도 $< 1 \text{ pT/Hz}^{1/2}$, 온도 편차 $< 100 \text{ mK/Hz}^{1/2}$ 의 특성을 가질 수 있다.

[0058] 지금까지 참조한 도면과 기재된 발명의 상세한 설명은 단지 본 발명의 예시적인 것으로서, 이는 단지 본 발명을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미 한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 그러므로 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 타 실시 예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구 범위의 기술적 사상에 의해 정해져야 할 것이다.

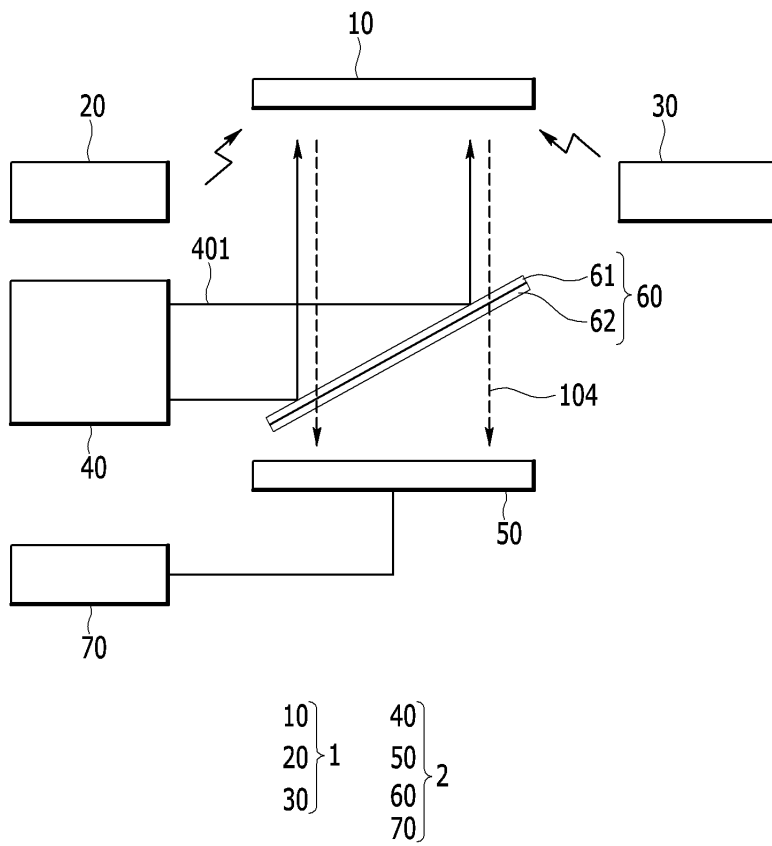
부호의 설명

[0059]

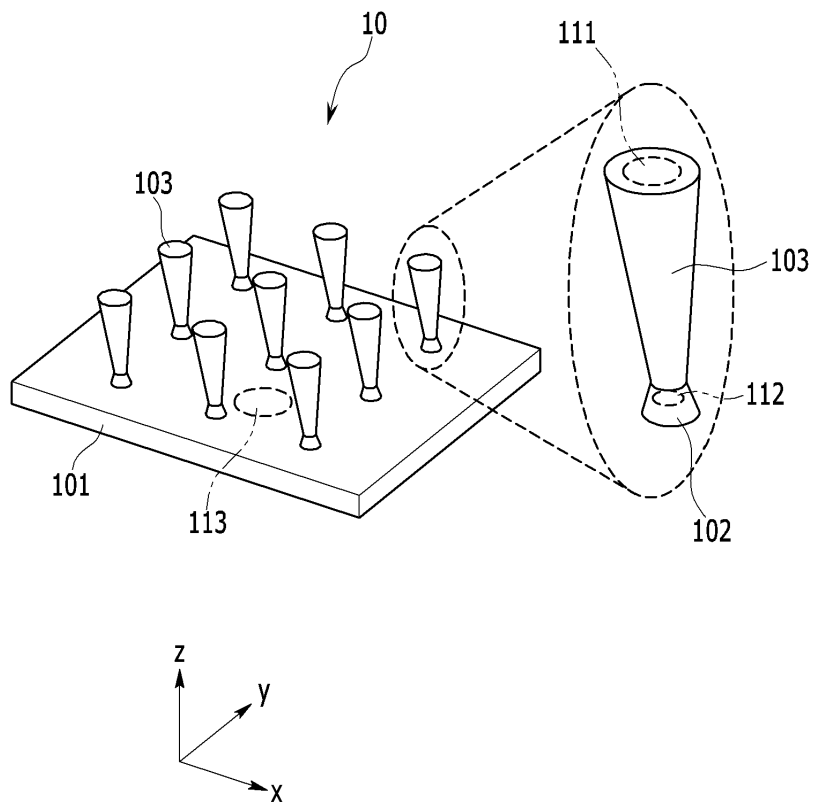
1: 다이아몬드 센서부	2: 광학부
10: 다이아몬드 결정	20: 마이크로파 안테나
30: 전자기 코일	40: 레이저 소스
50: 광센서	60: 광학 소자
70: 신호 처리기	101: 기관
102: 베이스	103: 콘
104: 형광	111: 제1 영역
112: 제2 영역	113: 제3 영역

도면

도면1



도면2



도면3

