

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2013년 5월 2일 (02.05.2013)



(10) 국제공개번호
WO 2013/062260 A1

- (51) 국제특허분류:
G01N 24/08 (2006.01)
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2012/008426
- (22) 국제출원일: 2012년 10월 16일 (16.10.2012)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보:
10-2011-0109971 2011년 10월 26일 (26.10.2011) KR
- (71) 출원인 (US 을(를) 제외한 모든 지정국에 대하여): 한국
표준과학연구원 (KOREA RESEARCH INSTITUTE
OF STANDARDS AND SCIENCE) [KR/KR]; 305-340
대전시 유성구 도룡동 1, Daejeon (KR).
- (72) 발명자; 겸
- (71) 출원인 (US 에 한하여): 김기웅 (KIM, kiwoong)
[KR/KR]; 305-749 대전시 유성구 반석동 반석마을 5
단지 아파트 502-903, Daejeon (KR). 강찬석 (KANG,
Chan-Seok) [KR/KR]; 302-280 대전시 서구 월평동
1316 거성빌라 201, Daejeon (KR). 이성주 (LEE, Seong-
Joo) [KR/KR]; 302-740 대전시 서구 만년동 초원아파
트 103-1113, Daejeon (KR). 이용호 (LEE, Yong-ho)
[KR/KR]; 305-755 대전시 유성구 어은동 99 한빛아파

트 111-801, Daejeon (KR). 유권규 (YU, Kwon-Kyu)
[KR/KR]; 302-793 대전시 서구 월평 2 동 주공아파트
210-406, Daejeon (KR).

(74) 대리인: 이평우 (LEE, Pyung-Woo); 135-080 서울시 강
남구 역삼동 837-11 유니온센타빌딩 1613, Seoul (KR).

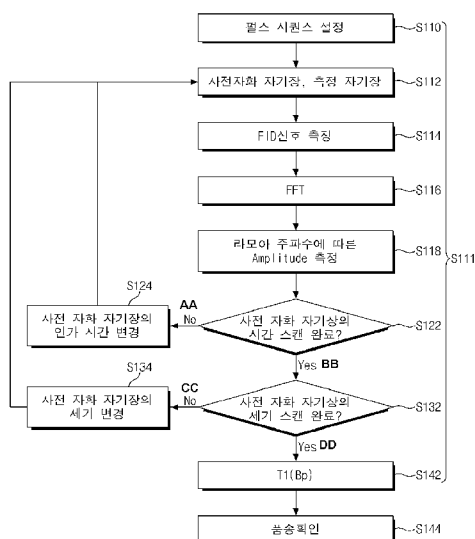
(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의
국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO,
AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KZ,
LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, 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, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(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, 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),

[다음 쪽 계속]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR IDENTIFYING EXTREMELY-LOW-MAGNETIC-FIELD NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE MATERIAL

(54) 발명의 명칭: 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법 및 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 장치



AA, CC ... No
BB, DD ... Yes
S110 ... Pulse sequence is set
S112 ... Pre-magnetized magnetic field, measured magnetic field
S114 ... FID signal is measured
S118 ... Amplitude is measured according to Larmor frequency
S122 ... Is time scanning of pre-magnetized magnetic field completed?
S124 ... Applying time of pre-magnetized magnetic field is changed
S132 ... Is intensity time of pre-magnetized magnetic field completed?
S134 ... Intensity of pre-magnetized magnetic field is changed
S144 ... Species is confirmed

(57) Abstract: The present invention provides a method and apparatus for identifying an extremely-low-magnetic-field nuclear magnetic resonance material. The method includes the steps of: changing the intensity of pre-magnetized magnetic field or the application time of the pre-magnetized magnetic field with respect to measuring targets and measuring a spin-lattice relaxation time (T1); and classifying the measuring targets using the spin-lattice relaxation time.

(57) 요약서: 본 발명은 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법 및 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 장치를 제공한다. 이 방법은 측정 대상에 사전 자화 자기장의 세기 또는 사전 자화 자기장의 인가 시간을 변경하면서 스핀-격자 완화 시간(T1)을 측정하는 단계, 및 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계를 포함한다.

WO 2013/062260 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, —
MR, NE, SN, TD, TG).

청구범위 보정 기한 만료 전의 공개이며, 보정서를
접수하는 경우 그에 관하여 별도 공개함 (규칙
48.2(h))

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제 21 조(3))

명세서

발명의 명칭: 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법 및 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 장치

기술분야

- [1] 본 발명은 극저자기장 물체 식별 방법에 관한 것으로, 더 구체적으로 스핀-격자 완화시간이 포화되지 않는 낮은 사전 자화 자기장 또는 검출 자기장을 변경하면서 측정한 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 측정 대상을 구분하는 극저자기장 물체 식별 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [2] NMR은 모든 물질을 구성하는 원자핵에서 자기장을 인가할 때 원자핵의 자기 스핀이 상기 자기장에 공명하여 세차하는 현상이다. 기존의 NMR의 주자석은 0.1 테슬라 내지 수 테슬라의 자기장을 공간적으로 균일하게 형성해야 한다. 따라서, 상기 자기장을 형성하는 초전도 주자석은 부피가 크고, 비싸다.
- [3] 저 자기장/ 극저 자기장 NMR는 기존의 NMR의 주자석에서 생성되는 자기장을 사전자화 자기장과 검출 자기장의 두 부분으로 분리한다. 이에 따라, 상기 검출 자기장의 크기는 수십 마이크로 테슬라 내지 수 마이크로 테슬라 정도로 낮출 수 있다.
- [4] 저 자기장/ 극저 자기장 NMR은 상기 사전 자화 자기장을 형성하는 사전 자화 코일과 상기 검출 자기장을 형성하는 검출 코일을 포함한다. 상기 사전 자화 코일은 사전 자화 자기장을 생성하여 측정하고자 하는 대상 물체를 사전 자화시킨다. 이어서, 상기 사전자화 자기장을 제거하고, 상기 검출 자기장을 상기 대상 물체에 인가하여, 상기 대상 물체의 자성이 이완되는 시간 동안 나타나는 핵자기 공명 신호를 검출기로 측정한다. 이에 따라, 상기 사전 자화 코일은 상기 사전 자화 자기장의 균일도가 떨어지더라도 강한 자기장만 만들면 된다. 또한, 상기 검출 코일은 균일하지만 약한 검출 자기장만 만들면 된다. 따라서 극저 자기장/ 저 자기장 NMR은 그 구조가 간단하고 가격도 저렴할 수 있다. 상기 검출 자기장의 크기가 감소함에 따라 자기장의 크기에 비례하는 라모어(Larmor) 공명 주파수에 해당하는 검출 신호의 주파수는 수 kHz 내지 수백 Hz 정도로 감소한다.
- [5] 이에 따라, 종래의 고 자기장 NMR에서 볼 수 없었던 현상의 측정이 가능하다. 저 자기장/ 극저 자기장 NMR은 금속에 의한 왜곡이 현저히 적다. 따라서, 금속 캔 내부의 물질 또는 포장된 물질은 비파괴적으로 측정될 수 있다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [6] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 극저자기장 NMR을 이용한 물체 식별 방법을 제공하는 것이다.

- [7] 본 발명의 해결하고자 하는 일 기술적 과제는 극저자기장 NMR을 이용한 물체 식별 장치를 제공하는 것이다.

과제 해결 수단

- [8] 본 발명의 일 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 측정 대상에 복수의 사전 자화 자기장의 세기에서 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 측정하는 단계; 및 상기 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계를 포함한다.
- [9] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)들을 측정하는 단계는 상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계; 상기 사전 자화 자기장 및 검출 자기장을 인가하는 단계; 자유 유도 감쇄(FID) 신호를 측정하는 단계; 상기 FID 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 크기 또는 선폭을 측정하는 단계; 상기 사전 자화 자기장의 인가 시간을 변경하는 단계; 상기 사전 자화 자기장의 인가 시간에 따른 신호 크기 변화를 피팅하여 T1을 구하는 단계; 및 변경된 복수의 상기 사전 자화 자기장 크기에 대해, 위의 단계들을 반복하여 각각의 T1을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계를 포함한다. 상기 제1 파라미터 벡터를 이용하여 상기 측정 대상의 품종이 확인된다.
- [10] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 그레디언트 에코 신호를 이용하여 상기 측정 대상의 스핀-스핀 완화 시간(T2)을 측정하는 단계; 및 상기 스핀-스핀 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [11] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 측정 대상의 스핀-스핀 완화 시간(T2)을 측정하는 단계는 상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계; 상기 사전 자화 자기장 및 검출 자기장을 인가하는 단계; 양의 경사 자기장 및 음의 경사 자기장을 연속적으로 인가하는 단계; 그레디언트 에코 신호를 측정하는 단계; 상기 그레디언트 에코 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계; 및 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 또는 선폭의 역수를 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계를 포함한다. 상기 제2 파라미터 벡터를 이용하여 품종이 확인될 수 있다.
- [12] 본 발명의 일 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 측정 대상에 검출 자기장의 세기를 변경하면서 자유 유도 감쇄 신호를 측정하고 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계; 및 상기 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계를 포함한다.
- [13] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 측정 대상에 검출 자기장의 세기를 변경하면서 자유 유도 감쇄 신호를 측정하고 푸리에 변환하여 원자핵의 공명 주파수의 선폭을 측정하는 단계는 상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스

시퀀스를 설정하는 단계; 사전 자화 자기장을 인가하는 단계; 상기 검출 자기장을 인가하는 단계; 자유 유도 감쇄(FID) 신호를 측정하는 단계; 상기 FID 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계; 상기 검출 자기장의 세기를 변경하는 단계; 및 위의 단계의 반복적인 측정으로 상기 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭으로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제3 파라미터 벡터를 이용하여 상기 측정 대상의 품종이 확인될 수 있다.

- [14] 본 발명의 일 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 복수의 사전 자화 자기장 크기에 대해 각각의 스핀-격자 완화 시간(T_1)을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계; 그레디언트 에코 신호를 이용하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 혹은 선폭의 역수(T_2)을 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계; 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭의 값들로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계; 상기 제1 내지 제3 파라미터 벡터들의 성분들을 조합하여 새로운 파라미터 벡터를 구성하는 단계; 및 상기 새로운 파라미터 벡터를 이용하여 측정 대상의 품종을 확인하는 단계를 포함한다.
- [15] 본 발명의 일 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 복수의 사전 자화 자기장 크기에 대해 각각의 스핀-격자 완화 시간(T_1)을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계; 그레디언트 에코 신호를 이용하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 혹은 선폭의 역수(T_2)을 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계; 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭의 값들로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계; 상기 제1 내지 제3 파라미터 벡터들의 성분들을 조합하여 새로운 파라미터 벡터를 구성하는 단계; 구별하려는 여러 가지 물질의 반복 측정으로 각각의 물질에 대한 새로운 파라미터 벡터들을 수집하는 단계; 수집된 새로운 파라미터 벡터들에 서포트벡터머신(support vector machine; SVM) 또는 주요소분석법(Principal component analysis; PCA)을 적용하여 구분에 효과적인 주요 벡터 성분을 찾아내고, 새로운 파라미터 벡터를 주요 벡터 성분으로 사영시킴으로써 파라미터 벡터의 차원을 줄이는 단계; 및 차원 감소된 파라미터 벡터 성분을 이용하여 고속으로 물질의 품종을 확인하는 단계를 포함한다.
- [16] 본 발명의 일 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 장치는 저온 액체 냉매를 담고 있는 듀아; 측정 대상을 사전 자화시키는 사전자화 코일; 상기 사전자화 코일에 전류를 단속적으로 인가하여 사전자화 자기장(B_p)을 형성하는 사전자화 코일 구동부; 상기 사전자화 코일에 의하여 상기 사전자화 자기장(B_p)이 인가되는 측정 대상에 의한 핵자기 공명 신호를 측정하는 센서부; 측정 대상에 검출 자기장을 인가하는 검출 코일; 및 상기 검출 코일에 전류를 인가하여 상기 측정 대상에 검출 자기장(readout magnetic field)을 인가하는 검출

자기장 전원부를 포함한다. 상기 센서부는 상기 측정 대상에 복수의 사전 자화 자기장의 세기에서 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 측정하고, 상기 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류한다.

- [17] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 측정 대상에 경사 자기장을 인가하는 경사 자기장 코일; 상기 경사 자기장 코일에 전류를 공급하는 경사 자기장 구동부; 상기 경사 자기장 구동부에 전원을 제공하는 경사 자기장 전원부; 및 상기 사전 자화 코일 구동부, 상기 검출 자기장 전원부, 및 검출 자기장 전원부에 펄스 시퀀스를 제공하는 펄스 시퀀스 발생부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [18] 본 발명의 일 실시예에 따른 물체 식별 방법은 종래의 DNA 검사를 하지 않고 비파괴적으로 농축산물의 품종을 알아낼 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [19] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 품종 판별을 위한 저자기장 핵자기 공명 장치를 설명하는 도면이다.
- [20] 도 2는 도 1의 극저자기장 핵자기 공명 장치를 이용한 물체 식별 방법을 설명하는 흐름도이다.
- [21] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.
- [22] 도 4는 도 3a의 펄스 시퀀스에 의하여 획득된 FID 신호의 푸리에 변환 결과이다.
- [23] 도 5는 사전 자화 자기장의 세기 또는 인가 시간에 따른 라모어 공명 주파수에서의 진폭을 나타내는 도면이다.
- [24] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.
- [25] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 Bp에 따른 T1의 의존성을 설명하는 도면이다.
- [26] 도 8은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 T2를 측정하는 펄스 시퀀스를 나타내는 도면이다.
- [27] 도 9는 도 8의 T2를 측정하기 위한 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.
- [28] 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 물체 식별 방법을 설명하는 도면이다.
- [29] 도 11은 도 10의 FID 신호를 푸리에 변환하여 얻은 신호의 선폭을 측정하기 위한 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.
- [30] 도 12는 도 10의 물체 식별 방법을 이용하여 획득한 가상 데이터이다.
- [31] 도 13은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법을 설명하는 흐름도이다.
- [32] 100: 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 장치
- [33] 112: 듀어
- [34] 122: 사전자화 코일

- [35] 124: 사전자화 코일 구동부
- [36] 130: 측정 대상
- [37] 160: 센서부
- [38] 152: 검출 코일
- [39] 154: 검출 자기장 전원부

발명의 실시를 위한 형태

- [40] 종래의 고 자기장 NMR/MRI에서, MR Signal은 수소 원자핵에서 나온 신호이며, 몸속의 물 분자의 H 원자핵 농도에 따라 영상이 나타난다. 따라서, 자기 공명 영상은 공간적인 수소 원자핵 농도를 나타낸다. 고 자기장 NMR/MRI에서, T1은 스핀-격자 완화 시간(Spin-lattice relaxation time; T1)이고, T2는 스핀-스핀 완화 시간(spin-spin relaxation time; T2)이다. 생체 조직(tissue)은 고정된 주 자기장하에서 서로 다른 T1 및/또는 T2를 가질 수 있다. MRI(Magnetic Resonance Imaginig)는 공간적인 T1 또는 T2의 공간적 분포이다. 그러나, 고 자기장 NMR/MRI는 주자기장의 세기를 변화시키기 어려워 농축산물의 품종을 알아내기 어렵다.
- [41] 극저 자기장 NMR에서 스핀-격자 완화 시간(Spin-lattice relaxation time; T1)은 사전 자화 자기장(Bp) 및/또는 검출 자기장(Bm)의 함수일 수 있다. 극저 자기장 NMR는 사전 자화 자기장(Bp) 및/또는 검출 자기장(Bm)을 용이하게 변경할 수 있다. 따라서, 사전 자화 자기장(Bp)에 따라 측정된 T1, 검출 자기장(Bm)에 따라 측정된 FID 신호의 선폭, 또는 그레디언트 에코 신호를 처리하여 얻은 T2는 측정 대상의 분별에 사용될 수 있다.
- [42] 예를 들어, 한 품종의 특정한 생체 조직은 다른 품종의 특정한 생체 조직과 서로 다른 T1 의존성을 가질 수 있다. 측정된 T1 의존성은 육안으로 식별 불가능한 측정 대상의 품종을 구분하기 위하여 사용될 수 있다. 예를 들어, 측정 대상은 과일, 채소, 주류, 어류, 및 육류일 수 있다.
- [43] 한국산 소(한우)와 미국산 소는 서로 다른 품종으로, 현재 DNA 검사에 의해서만 판별될 수 있다. 그러나, DNA 검사는 많은 시간 및 측정 대상의 파괴를 요구한다. 따라서, 축산물의 품종을 구별하는 새로운 방법이 요구된다. 따라서, 극저 자기장 NMR은 축산물의 품종을 구별에 사용될 수 있다.
- [44] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 측정 대상의 품종을 판별하기 위하여 서로 다른 조건에서의 T1이 측정될 수 있다.
- [45] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 그러나, 본 발명은 여기서 설명되어지는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 오히려, 여기서 소개되는 실시예는 개시된 내용이 철저하고 완전해질 수 있도록 그리고 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 제공되어지는 것이다. 도면들에 있어서, 구성요소는 명확성을 기하기 위하여 과장되어진 것이다. 명세서 전체에

결쳐서 동일한 참조번호로 표시된 부분들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[46] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 품종 판별을 위한 극저자기장 핵자기 공명 장치를 설명하는 도면이다.

[47] 도 1을 참조하면, 상기 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 장치(100)는 저온 액체 냉매를 담고 있는 듀아(112), 측정 대상을 사전 자화시키는 사전자화 코일(122), 상기 사전자화 코일(122)에 전류를 단속적으로 인가하여 사전자화 자기장(B_p)을 형성하는 사전자화 코일 구동부(124), 상기 사전자화 코일(122)에 의하여 상기 사전자화 자기장(B_p)이 인가되는 상기 측정 대상(130)에 의한 핵자기 공명 신호를 측정하는 센서부(160), 상기 측정 대상(130)에 검출 자기장(B_m)을 인가하는 검출 코일(152), 및 상기 검출 코일(152)에 전류를 인가하여 상기 측정 대상(130)에 상기 검출 자기장(readout magnetic field, B_m)을 인가하는 검출 자기장 전원부(154)를 포함한다.

[48] 상기 센서부(160)는 상기 측정 대상(130)에 사전 자화 자기장(B_p)의 세기 또는 사전 자화 자기장(B_p)의 인가 시간을 변경하면서 획득된 핵자기 공명 신호를 처리하여 추출된 스핀-격자 완화 시간(T_1)을 이용하여 상기 측정 대상의 품종을 식별한다.

[49] 상기 센서부(160)는 상기 측정 대상에 복수의 사전 자화 자기장의 세기에서 각각의 스핀-격자 완화 시간(T_1)을 측정하고, 상기 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류한다.

[50] 경사 자기장 코일(142)은 상기 측정 대상(130)에 경사 자기장(B_G)을 인가할 수 있다. 경사 자기장 구동부(144)는 상기 경사 자기장 코일(142)에 전류를 공급하여 상기 측정 대상(130)에 상기 경사 자기장(B_G)을 인가한다. 경사 자기장 전원부는 상기 경사 자기장 구동부에 전원을 제공할 수 있다. 상기 경사 자기장 전원부(146)는 펄스 시퀀스 발생부(172)로부터 펄스 시퀀스를 제공받아 상기 경사 자기장 구동부(144)에 전력을 공급한다.

[51] 상기 펄스 시퀀스 발생부(172)는 제어부(165)의 제어 신호를 입력받아 상기 사전 자화 코일 구동부(124), 상기 검출 자기장 전원부(154), 및 경사 자기장 전원부(146)에 펄스 시퀀스를 제공한다.

[52] 상기 센서부(160)는 자속을 감지 및/또는 감쇠/증폭하는 자속변환부(161), 상기 자속변환부(161)의 출력 신호를 입력받아 자기장을 검출해 전압신호로 변환하는 SQUID(163), 상기 SQUID(163)의 전압 신호를 선형화하여 검출된 자기장에 비례하는 전압 신호로 제공하는 FLL부(168), 상기 FLL부(168)의 상기 선형화된 전압 신호를 처리하여 노이즈를 제거하고 증폭하는 센서 신호 처리부(166), 및 상기 FLL부(168)에 제어 신호를 제공하는 센서 제어부(167)를 포함할 수 있다.

[53] 상기 SQUID(163)는 초전도체만이 지닌 조셉슨 효과와 자속의 양자화 현상을 결합하여 외부 자속의 변화를 전압으로 변환하는 일종의 트랜스듀서(transducer)이다. 상기 SQUID(163)는 한 개의 초전도 루프에 한 개 또는 두 개의 조셉슨 접합을 끼워 결합한 자기센서이다. RF SQUID는

초전도루프에 한 개의 조셉슨 접합을 삽입하여 결합할 수 있다. DC SQUID는 초전도루프에 두 개의 조셉슨 접합을 삽입하여 결합할 수 있다. 상기 RF SQUID는 RF 주파수 대역의 교류 전압을 출력하고 그 주파수가 가해진 자속에 따라 바뀌는 방식으로 작동하며, 상기 DC SQUID는 가해진 자속에 대한 함수로 교류 전압을 발생하는 방식으로 작동하며 이 함수는 자속의 양자 값인 $\Phi_0 (= 2.07 \times 10^{-15} \text{ Wb})$ 를 주기로 하여 진동하는 형태로 주어진다. 상기 자속/전압 변환 함수의 구체적인 형태는 상기 DC SQUID의 구체적인 구조에 따라 결정될 수 있다.

- [54] 상기 자속변환부(161)는 자속을 감지하여 초전도 전류로 변환하는 픽업(pick-up) 코일 및/또는 이를 상기 SQUID(163)에 다시 자속 형태로 증폭 또는 감쇠시켜 전달해 주는 입력(input)코일을 포함할 수 있다. 상기 자속변환부(161)는 초전도체로 구성될 수 있다. 상기 픽업 코일은 많은 자속을 감지하기 위하여 넓은 면적을 지닐 수 있다. 상기 입력 코일은 SQUID에 접속시키기 위하여 SQUID와 비슷한 면적을 지니고 있고 그 증폭을 또는 감쇠율을 변화시키기 위하여 여러 번 감길 수 있다. 상기 자속변환부(161)는 픽업 코일이 하나의 루프로 구성된 마그네토미터(Magnetometer) 또는 픽업 코일이 서로 반대 방향으로 감긴 루프 쌍이 하나 또는 그 이상의 수로 구성된 그라디오미터(Gradiometer)를 포함할 수 있다.
- [55] 상기 SQUID(163)는 도선을 통하여 상기 FLL부(168)와 연결될 수 있다. 상기 SQUID(163)를 사전자호 자기장(B_p)와 같이 매우 큰 자기장하에서 안정적으로 동작시키기 위해서 보호가 필요하다. 따라서 극저자장-MRI 시스템에서는 SQUID의 보호를 위해 초전도 차폐(164)를 이용한다. 그러나 SQUID 센서 전체를 초전도 차폐할 경우 SQUID가 자기장 감지 센서로서의 기능을 할 수 없다. 따라서 초전도체를 이용한 차폐를 할 때는 SQUID 부분과 자속 변환부의 입력 코일 부분만을 초전도 차폐하고, 검출코일은 초전도 차폐 외부에 놓인다. 이 경우, SQUID 자체는 초전도 차폐(164)를 함으로써 강한 자기장으로부터 보호되나, 검출 코일로부터 유도된 전류가 SQUID로 인가되는 것은 막을 수가 없다. 그러므로 극저자장-NMR 시스템에서는 이러한 검출코일에서 유도된 과전류가 SQUID로 인가되는 것을 막기 위한 전류 제한부(162)가 배치된다.
- [56] FLL(flux locked loop)부(168)는 상기 SQUID(163)의 출력신호를 받아들이는 입력단, 적분기, 피드백(feedback) 방식의 선형화 회로, 및 피드백 코일 등을 포함할 수 있다. 상기 FLL부(168)는 자속의 변화량을 자속 양자값 Φ_0 보다 훨씬 넓은 범위를 가지는 전압 신호로 변환하여 출력할 수 있다.
- [57] 검출 자기장 생성부(155)는 공간적으로 균일하고 낮은 검출 자기장(B_m)을 생성할 수 있다. 상기 검출 자기장 생성부(155)는 검출 자기장 전원부(154), 검출 자기장 게이트부(156), 및 검출 코일(152)을 포함할 수 있다. 상기 검출 자기장 게이트부(156)는 단속적으로 상기 검출 자기장(B_m)을 생성하도록 상기 검출

- 코일(152)에 인가되는 전류를 조절할 수 있다.
- [58] 경사 자기장 생성부(145)는 y 성분의 경사 자기장(dBy/dy)을 생성하도록 경사 자기장 전원부(146), 경사 자기장 구동부(144), 및 경사 자기장 코일(142)을 포함할 수 있다.
- [59] 펄스 시퀀스 발생부(172)는 펄스 시퀀스를 생성하여 T1, T2, FID 신호의 선폭을 얻을 수 있도록 사전 자화 코일 구동부(124), 검출 자기장 전원부(154), 및 상기 경사 자기장 전원부(146)에 제공할 수 있다.
- [60] 제어부(165)는 상기 센서 신호처리부(166)의 신호를 처리하고 상기 펄스 시퀀스 발생부(172), 및 센서 센서부(167)를 제어할 수 있다.
- [61] 한편, 사전 자화 자기장(Bp), 검출 자기장(Bm), 및 경사 자기장(BG)을 켜고 끄는 스위치로 광학 에스에스알(Optical Solid State Relay; SSR)이 사용될 수 있다. 상기 SSR이 꺼져있는 동안에는 사전 자화 코일(122), 검출 자기장 코일(152), 및 경사 자기장 코일(142)은 전류원과 완전히 단락될 수 있다. 상기 SSR을 구동하기 위한 TTL 신호는 광통신을 통해 인가될 수 있다. 이에 따라, 상기 센서부(160)에 악영향을 줄 수 있는 모든 전기적인 연결은 제거될 수 있다.
- [62] 상기 사전 자화 코일(122)은 측정 대상(130)을 사전 자화시키기 위한 사전 자화 자기장(Bp)을 생성할 수 있다. 상기 사전 자화 코일(Bp)은 외부 지름이 30 mm 이고 길이가 60 mm 인 보어에 지름 1 mm 인 구리선이 총 240 회 감겨있는 솔레노이드 형태일 수 있다. 상기 사전 자화 코일(122)의 총 저항은 0.75 오옴이고, 인덕턴스는 1 kHz에서 0.79 mH이다.
- [63] 상기 센서부(160)에 미치는 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 전류원으로 12 V Pb 배터리가 사용될 수 있다. 분해능이 0.01 mT 인 가우스 미터로 측정한 사전 자화 코일 내부 중심에서의 자기장은 약 50 mT일 수 있다.
- [64] 검출 코일(152)은 측정 대상에 검출 자기장(Bm)을 인가할 수 있다. 상기 검출 코일은 한 변의 길이가 1340 mm인 사각형 헬름홀츠 코일(Helmholtz coil)일 수 있다. 상기 검출 코일의 중심에서의 자기장은 플럭스 케이트를 이용하여 측정하였을 때 약 2.82 Gauss이다. 이 크기의 자기장에 해당하는 수소원자핵의 라모어(Lamour) 주파수는 약 120 Hz 이다.
- [65] 상기 검출 자기장의 세기에 따라 수소 원자핵, 탄소 원자핵, 또는 질소 원자핵의 공명(Lamour) 주파수는 변경될 수 있다. 따라서, 소정의 검출 자기장에서 수소 원자핵, 탄소 원자핵, 또는 질소 원자핵에 대한 라모어(Lamour) 주파수는 고정될 수 있다. 자유 유도 감쇠 신호(Free induction decay; FID Signal)를 푸리에 변환한 경우, 소정의 라모어 주파수에서 진폭은 사전 자화 자기장의 세기 또는 고정된 사전 자화 자기장의 세기에서 인가 시간에 따라 변한다. 따라서, T1이 획득될 수 있다.
- [66] 경사 자기장 코일(142)은 경사 자기장을 인가할 수 있다. 경사 자기장 코일(142)은 마주보는 두 코일에 극성이 반대인 자장이 인가되는 맥스웰 페어(Maxwell pair) 형태일 수 있다. 상기 경사 자기장 코일(142)의 한 변의 길이는

1420 mm이며, 중심에서의 자기장 기울기는 플럭스 게이트를 이용하여 측정된 결과 약 31.3 pT/cm이다. 상기 자기장 기울기(dBy/dy)는 주파수 성분으로 표시하면 약 1.33 Hz/cm에 해당한다.

[67] 도 2는 도 1의 극저 자기장 핵자기 공명 장치를 이용한 물체 식별 방법을 설명하는 흐름도이다.

[68] 도 3a 및 도 3b는 본 발명의 일 실시예에 따른 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.

[69] 도 2, 도 3a 및 도 3b를 참조하면, 극저 자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 측정 대상에 복수의 사전 자화 자기장의 세기에서 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 측정하는 단계(S111), 및 상기 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계(S144)를 포함한다.

[70] 측정 대상은 극저자기장 핵자기 공명 장치에 설치된다. 상기 극저자기장 핵자기 공명 장치의 펄스 시퀀스는 결정된다. T1을 측정하기 위한 펄스 시퀀스는 2 가지 방식을 가질 수 있다.

[71] 하나는 고정된 사전 자화 자기장의 세기에서 사전 자화 자기장의 인가 시간을 변경하면서 자유 유도 감쇄(FID) 신호를 측정하는 것이다. 이에 따라, 사전 자화 자기장의 인가 시간에 따라 측정 대상의 자화 정도가 결정된다. 측정된 FID 신호는 푸리에 변환(Fourier Transformation)될 수 있다(S116). 이어서, 주파수에 따른 푸리에 변환에 의하여 진폭이 구해진다. 수소 원자핵의 공명 주파수에서, 진폭이 구해진다(S118).

[72] 수소 원자핵의 공명 주파수에서 진폭은 사전 자화 자기장의 인가 시간에 따라 측정될 수 있다(S124). 상기 인가 시간에 따른 수소 원자핵의 공명 주파수에서 진폭은 상기 인가 시간이 증가함에 따라 포화된다. 상기 진폭은 인가 시간에 따라 지수 함수 의존성을 가지고, T1은 지수 함수로 피팅되어 구해질 수 있다(S142).

[73] 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 측정하는 단계(S111)는 상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계(S110), 상기 사전 자화 자기장 및 검출 자기장을 인가하는 단계(S112), 자유 유도 감쇄(FID) 신호를 측정하는 단계(S114), 상기 FID 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 크기 또는 진폭을 측정하는 단계(S118), 상기 사전 자화 자기장의 인가 시간을 변경하는 단계(S124), 상기 사전 자화 자기장의 인가 시간에 따른 신호 크기 변화를 피팅하여 T1을 구하는 단계(S142), 및 변경된 복수의 상기 사전 자화 자기장 크기에 대해, 위의 단계들을 반복하여 각각의 T1을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S134)를 포함한다. 상기 제1 파라미터 벡터를 이용하여 상기 측정 대상의 품종이 확인된다.

[74] 도 3a를 참조하면, T1 측정을 위한 펄스 시퀀스는 사전 자화 자기장(Bp1) 및 검출 자기장(Bm)을 순차적으로 또는 동시에 인가할 수 있다. 상기 검출 자기장(Bm)은 상기 사전 자화 자기장(Bp1)이 꺼지 전에 인가되는 것이

바람직하다. 상기 사전 자화 자기장의 세기(B_p1)는 일정하다. 상기 사전 자화 자기장의 인가 시간(t_{P1})은 펄스 시퀀스에 따라 변경된다. 상기 사전 자화 자기장(B_p1)이 꺼진 후 소정의 FLL 구동 시간(t_{FLL})이 지난 시간부터 FID 신호를 측정 시간($t_{measure}$) 동안 측정할 수 있다.

[75] 도 3b를 참조하면, 사전 자화 자기장의 인가 시간(t_{P2})은 도 3a의 사전 자화 자기장의 인가 시간(t_{P1})과 다르다(S124). 따라서, 측정 대상의 자화 정도에 따라, FID 신호의 초기 진폭은 변한다.

[76] 도 4는 도 3a의 펄스 시퀀스에 의하여 획득된 FID 신호의 푸리에 변환 결과이다.

[77] 도 4를 참조하면, 사전 자화 자기장의 인가 시간에 따른 수소 원자핵의 공명 주파수에서의 진폭을 나타내는 도면이다.

[78] 도 4를 참조하면, 측정 대상의 1H 양성자의 자유유도감쇠(Free Induction Decay : FID) 신호의 FFT(Fast Fourier Transforamtion)를 보여준다. T_2^* 는 약 2.5 초 이상으로 나타났고, 신호 대 잡음비는 약 14.5 로 나타났다. FFT는 제로 필링(zero filling) 후에 수행되었다. 약 120 Hz 근방에서 주파수 피크가 나타난다. 이 피크의 위치는 인가한 2.82 uT (micro Tesla) 크기의 검출 자기장에 해당하는 물의 공명 주파수인 120 Hz와 잘 일치한다. NMR 시스템의 공간 분해능을 의미하는 스펙트랄 레졸루션(spectral resolution)의 반치폭 (Full-Width-Half-Maximum : FWHM)은 약 0.5 Hz이다.

[79] 도 5는 사전 자화 자기장의 세기 또는 인가 시간에 따른 라모어 공명 주파수에서의 진폭을 나타내는 도면이다.

[80] 도 5를 참조하면, 수소 원자핵의 공명 주파수에서 진폭은 사전 자화 자기장(B_p1)의 인가 시간(t_P) 또는 세기에 따라 변한다. 사전 자화 자기장의 세기 또는 인가 시간이 증가함에 따라 K 라, 측정 대상의 자화는 포화된다. 따라서, 측정 대상의 자화는 상기 진폭에 의존한다. 따라서, 상기 진폭은 인가 시간에 따라 지수 함수 의존성을 가지고, $T1$ 은 지수 함수로 피팅되어 구해질 수 있다(S142).

[81] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.

[82] 도 2 및 도 6을 참조하면, $T1$ 은 고정된 사전 자화 자기장(B_p)의 인가시간에서 사전 자화 자기장(B_p)의 세기를 변경하면서 FID 신호를 측정하여 구해질 수 있다(S134). 이에 따라, 사전 자화 자기장의 세기에 따라 측정 대상의 자화 정도가 결정된다. 측정된 FID 신호는 푸리에 변환(Fourier Transformation)될 수 있다(S116). 이어서, 주파수에 따른 푸리에 변환된 진폭이 구해진다(S118).

[83] 수소 원자핵의 공명 주파수에서 진폭은 사전 자화 자기장의 세기에 따라 측정될 수 있다. 사전 자화 자기장의 세기에 따른 수소 원자핵의 공명 주파수에서 진폭은 상기 세기가 증가함에 따라 포화된다. 상기 진폭은 세기에 따라 지수 함수의존성을 가지고, $T1$ 은 지수 함수로 피팅되어 구해질 수 있다(S142).

- [84] 사전 자화 자기장의 인가 시간(t_P)은 일정하고, 사전 자화 자기장(B_p)의 세기가 펄스 시퀀스에 따라 증가 또는 감소한다. 사전 자화 자기장(B_p)이 꺼진 후 소정의 FLL 구동 시간(t_{FLL})이 지난 시간부터 FID 신호를 측정 시간($t_{measure}$) 동안 측정할 수 있다. 따라서, 고정된 사전 자화 자기장의 인가 시간에서 사전 자화 자기장의 세기에 따라, 수소핵의 공명 주파수에서의 진폭이 추출될 수 있다. 상기 진폭은 사전 자화 자기장의 세기에 따라 지수 함수 의존성을 가지고, 지수 함수 의존성에 의하여 T_1 이 추출될 수 있다.
- [85] 수소 이외에 탄소, 질소 등의 다른 원자핵에 대하여, T_1 및/또는 T_2 는 측정 대상의 품종에 따라 분류될 수 있다.
- [86] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 사전 자화 자기장(B_p)에 따른 T_1 의 의존성을 설명하는 도면이다.
- [87] 도 7을 참조하면, 수소 원자핵에 대하여 A 품종과 B 품종은 사전 자화 자기장(B_p)에 따라 서로 다른 T_1 의존성을 가질 수 있다. 또한, 탄소 원자핵에 대하여 A 품종과 B 품종은 서로 다른 경향성의 T_1 의존성을 가질 수 있다. 또한, 질소 원자핵에 대하여 A 품종과 B 품종은 서로 다른 경향성의 T_1 의존성을 가질 수 있다. 따라서, 사전자화 자기장(B_p)에 따른 T_1 의존성을 가지고 품종이 구별될 수 있다.
- [88] 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 T_2 를 측정하는 펄스 시퀀스를 나타내는 도면이다.
- [89] 도 9는 도 8의 T_2 를 측정하기 위한 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.
- [90] 도 8 및 도 9를 참조하면, 사전 자화 자기장(B_p)이 인가되고, 상기 사전 자화 자기장이 꺼지기 전에 검출 자기장(B_m)의 인가 시점에 동시에 양의 경사 자기장(B_{G+})이 측정 대상에 인가된다. 또한, 양의 경사 자기장이 꺼지는 시간과 동시에 음의 경사 자기장(B_{G-})이 측정 대상에 인가된다. 따라서, 측정 대상에서 탈위상화(dephasing)가 진행되던 스핀들이 극성이 반대인 음의 경사 자기장(B_{G-})에 의해 재초점화된다. 재초점화는 그레디언트 에코(gradient echo) 신호를 발생시킬 수 있다. 양의 경사 자기장(B_{G+})의 인가 시간은 t_{G+} 이고, 음의 경사 자기장(B_{G-})의 인가 시간은 t_{G-} 이다.
- [91] 사전 자화 자기장(B_p)이 꺼지기 이전에 검출 자기장(B_m)과 양의 경사자기장(B_{G+})이 켜지도록 펄스 시퀀스가 설계되었다. 양의 경사 자기장(B_{G+})과 사전 자화 자기장(B_p)이 동시에 꺼지는 시간(t_x)은 30 ms 이다. 양의 경사자기장(B_{G+})이 꺼짐과 동시에 음의 경사자기장(B_{G-})이 켜지도록 펄스열이 설계되었다. 음의 경사 자기장(B_{G-})이 켜진 후 최대 전압에 도달하는 데에는 35 ms 가량의 시간 지연이 있었다. 음의 경사 자기장(B_{G-})이 켜진 후에 FLL이 측정을 시작하는 시간(t_{FLL})은 8 ms 이다.
- [92] 그레디언트 에코(gradient echo) 신호는 푸리에 변환될 수 있다. 상기 수소 핵의 공명 주파수에서의 피크의 선폭의 역수는 T_2 를 나타낸다.
- [93] 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 그레디언트 에코 신호를 이용하여

상기 측정 대상의 스핀-스핀 완화 시간(T2)을 측정하는 단계(S211), 및 상기 스핀-스핀 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계(244)를 포함할 수 있다.

- [94] 상기 측정 대상의 스핀-스핀 완화 시간(T2)을 측정하는 단계(S211)는 상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계(S210), 상기 사전 자화 자기장 및 검출 자기장을 인가하는 단계(S212), 양의 경사 자기장 및 음의 경사 자기장을 연속적으로 인가하는 단계(S213), 그레디언트 에코 신호를 측정하는 단계(S214), 상기 그레디언트 에코 신호를 푸리에 변환하여(S216) 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계(S218), 및 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 또는 선폭의 역수를 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계를 포함할 수 있다(S242). 상기 제2 파라미터 벡터를 이용하여 품질이 하여 품질이 확인될 수 있다(S244).
- [95] 도 10은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 물체 식별 방법을 설명하는 도면이다.
- [96] 도 11은 도 10의 FID 신호를 푸리에 변환하여 얻은 신호의 선폭을 측정하기 위한 펄스 시퀀스를 설명하는 도면이다.
- [97] 도 12는 도 10의 물체 식별 방법을 이용하여 획득한 가상 데이터이다.
- [98] 도 10 내지 도 12를 참조하면, 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 측정 대상에 검출 자기장의 세기를 변경하면서 자유 유도 감쇄 신호를 측정하고 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계(S311); 및 상기 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계(S344)를 포함한다.
- [99] 측정 대상에 검출 자기장의 세기를 변경하면서 자유 유도 감쇄 신호를 측정하고 푸리에 변환하여 원자핵의 공명 주파수의 선폭을 측정하는 단계(S311)는 상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계(S310), 사전 자화 자기장을 인가하는 단계(S312), 상기 검출 자기장을 인가하는 단계(S313), 자유 유도 감쇄(FID) 신호를 측정하는 단계(S314), 상기 FID 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계(S316,S318), 상기 검출 자기장의 세기를 변경하는 단계(S334), 및 위의 단계의 반복적인 측정으로 상기 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭으로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S342)를 포함한다. 상기 제3 파라미터 벡터를 이용하여 상기 측정 대상의 품질이 확인된다(S344).
- [100] 수소핵의 공명 주파수의 선폭을 측정하기 위한 펄스 시퀀스는 사전 자화 자기장(Bp1) 및 검출 자기장(Bm)을 순차적으로 또는 동시에 인가할 수 있다. 상기 검출 자기장(Bm)은 상기 사전 자화 자기장(Bp1)이 꺼지 전에 인가되는 것이 바람직하다. 상기 사전 자화 자기장의 세기(Bp)는 일정하다. 상기 사전 자화 자기장의 인가 시간(t_P)은 일정하다. 상기 사전 자화 자기장(Bp1)이 꺼진 후 소정의 FLL 구동 시간(t_FLL)이 지난 시간부터 FID 신호를 측정 시간(t_measure)

동안 측정할 수 있다. 검출 자기장(Bm)의 세기는 펄스 시퀀스에 따라 증가 또는 감소하도록 변경될 수 있다. 이에 따라, 검출 자기장(Bm)의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭은 품종 구분에 사용될 수 있다.

[101] 도 13은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법을 설명하는 흐름도이다.

[102] 도 13을 참조하면, 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 복수의 사전 자화 자기장 크기에 대해 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S410), 그레디언트 에코 신호를 이용하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 혹은 선폭의 역수(T2)을 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계(S420), 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭의 값들로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S430), 상기 제1 내지 제3 파라미터 벡터들의 성분들을 조합하여 새로운 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S440), 및 상기 새로운 파라미터 벡터를 이용하여 측정 대상의 품종을 확인하는 단계(S470)를 포함한다.

[103] 본 발명의 변형된 실시예에 따른 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법은 복수의 사전 자화 자기장 크기에 대해 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S410), 그레디언트 에코 신호를 이용하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 혹은 선폭의 역수(T2)을 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계(S420), 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭의 값들로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S430), 상기 제1 내지 제3 파라미터 벡터들의 성분들을 조합하여 새로운 파라미터 벡터를 구성하는 단계(S440), 및 구별하려는 여러 가지 물질의 반복 측정으로 각각의 물질에 대한 새로운 파라미터 벡터들을 수집하는 단계(S450), 및 수집된 새로운 파라미터 벡터들에 서포트벡터머신(support vector machine;SVM) 또는 주요소분석법(Principal component analysis;PCA)을 적용하여 구분에 효과적인 주요 벡터 성분을 찾아내고, 새로운 파라미터 벡터를 주요 벡터 성분으로 사영시킴으로써 파라미터 벡터의 차원을 줄이는 단계(S460), 및 차원 감소된 파라미터 벡터 성분을 이용하여 고속으로 물질의 품종을 확인하는 단계(S470)를 포함한다.

[104] 복수의 사전 자화 자기장 세기에 의해 구해진 복수의 T1들, 복수의 검출 자기장 세기에 의해 구해진 복수의 신호 선폭(혹은 그의 역수)들, 그레디언트 에코에 의해 구해진 T2를 각각의 차원 값으로 조합하여 파라미터 벡터(g)를 구성할 수 있다. 예를 들어, 파라미터 벡터(g)는 다음과 같이 주어질 수 있다. $g=(T1@10mT, T1@20mT, T1@30mT, \dots, T2))$.

[105] 구분하려는 물질군에 대해 반복적으로 측정하여 구성된 파라미터 벡터는 다차원 파라미터 벡터 공간상에 도시(plot)될 수 있다. 이에 따라, 물질군에 따른 파라미터 벡터 공간상에서의 군집이 관찰될 수 있다. 파라미터 벡터 공간상에서의 물질군 구분은 패턴인식연구에서 잘 알려진 서포트 벡터

머신(support vector machine:SVM)이나 인공지능망(artificial neural network; ANN)등의 방법을 통해 수학적으로 구분 기준(criteria)을 사용하여 수행될 수 있다.

- [106] 파라미터의 수가 많아지면 측정 및 파라미터 공간에서의 구분에 시간이 걸릴 수도 있다. 이를 위해 SVM이나 주요소분석(Principal component analysis)를 통해서 파라미터의 성분 중 중요한 차원만을 남기고 다른 차원을 그 중요차원에 사영시킴으로써, 파라미터 공간의 차원을 축소할 수 있다.
- [107] 축소된 파라미터 벡터 구성요소를 이용하여 보다 고속으로 물질을 구분하는 것이 가능하다.
- [108] 이상에서는 본 발명을 특정의 바람직한 실시예에 대하여 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 이러한 실시예에 한정되지 않으며, 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 실시할 수 있는 다양한 형태의 실시예들을 모두 포함한다.
- [109]

청구범위

- [청구항 1] 측정 대상에 복수의 사전 자화 자기장의 세기에서 각각의 스핀-격자 완화 시간(T_1)을 측정하는 단계; 및
상기 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법.
- [청구항 2] 제1 항에 있어서,
각각의 스핀-격자 완화 시간(T_1)들을 측정하는 단계는:
상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계;
상기 사전 자화 자기장 및 검출 자기장을 인가하는 단계;
자유 유도 감쇄(FID) 신호를 측정하는 단계;
상기 FID 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 크기 또는 선폭을 측정하는 단계;
상기 사전 자화 자기장의 인가 시간을 변경하는 단계;
상기 사전 자화 자기장의 인가 시간에 따른 신호 크기 변화를 피팅하여 T_1 을 구하는 단계; 및
변경된 복수의 상기 사전 자화 자기장 크기에 대해, 위의 단계들을 반복하여 각각의 T_1 을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계를 포함하고,
상기 제1 파라미터 벡터를 이용하여 상기 측정 대상의 품종이 확인되는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법.
- [청구항 3] 제 1항에 있어서,
그레디언트 에코 신호를 이용하여 상기 측정 대상의 스핀-스핀 완화 시간(T_2)을 측정하는 단계; 및
상기 스핀-스핀 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법.
- [청구항 4] 제 3항에 있어서,
상기 측정 대상의 스핀-스핀 완화 시간(T_2)을 측정하는 단계는:
상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계;
상기 사전 자화 자기장 및 검출 자기장을 인가하는 단계;
양의 경사 자기장 및 음의 경사 자기장을 연속적으로 인가하는 단계;
그레디언트 에코 신호를 측정하는 단계;

[청구항 5]

상기 그레디언트 에코 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계; 및
 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 또는 선폭의 역수를 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계를 포함하고,
 상기 제2 파라미터 벡터를 이용하여 품종이 하여 품종이 확인되는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법.
 측정 대상에 검출 자기장의 세기를 변경하면서 자유 유도 감쇄 신호를 측정하고 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계; 및
 상기 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법.

[청구항 6]

제5 항에 있어서,
 측정 대상에 검출 자기장의 세기를 변경하면서 자유 유도 감쇄 신호를 측정하고 푸리에 변환하여 원자핵의 공명 주파수의 선폭을 측정하는 단계는:
 상기 측정 대상의 개별적 완화시간 특성에 적합한 펄스 시퀀스를 설정하는 단계;
 사전 자화 자기장을 인가하는 단계;
 상기 검출 자기장을 인가하는 단계;
 자유 유도 감쇄(FID) 신호를 측정하는 단계;
 상기 FID 신호를 푸리에 변환하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭을 측정하는 단계;
 상기 검출 자기장의 세기를 변경하는 단계; 및
 위의 단계의 반복적인 측정으로 상기 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭으로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계를 포함하고,
 상기 제3 파라미터 벡터를 이용하여 상기 측정 대상의 품종이 확인되는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 방법.

[청구항 7]

복수의 사전 자화 자기장 크기에 대해 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계;
 그레디언트 에코 신호를 이용하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에 따른 선폭 혹은 선폭의 역수(T2)을 제2 파라미터 벡터로 구성하는 단계;
 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의 신호 선폭의 값들로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계;
 상기 제1 내지 제3 파라미터 벡터들의 성분들을 조합하여 새로운

파라미터 벡터를 구성하는 단계; 및
 상기 새로운 파라미터 벡터를 이용하여 측정 대상의 품종을
 확인하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기
 공명 물체 식별 방법.

[청구항 8]

복수의 사전 자화 자기장 크기에 대해 각각의 스핀-격자 완화
 시간(T1)을 구하여 제1 파라미터 벡터를 구성하는 단계;
 그레디언트 에코 신호를 이용하여 소정의 원자핵의 공명 주파수에
 따른 선폭 혹은 선폭의 역수(T2)을 제2 파라미터 벡터로 구성하는
 단계;
 검출 자기장의 세기에 따른 소정의 원자핵의 공명 주파수에서의
 신호 선폭의 값들로 제3 파라미터 벡터를 구성하는 단계;
 상기 제1 내지 제3 파라미터 벡터들의 성분들을 조합하여 새로운
 파라미터 벡터를 구성하는 단계;
 구별하려는 여러 가지 물질의 반복 측정으로 각각의 물질에 대한
 새로운 파라미터 벡터들을 수집하는 단계;
 수집된 새로운 파라미터 벡터들에 서포트벡터머신(support vector
 machine;SVM) 또는 주요소분석법(Principal component
 analysis;PCA)을 적용하여 구분에 효과적인 주요 벡터 성분을
 찾아내고, 새로운 파라미터 벡터를 주요 벡터 성분으로
 사영시킴으로써 파라미터 벡터의 차원을 줄이는 단계; 및
 차원 감소된 파라미터 벡터 성분을 이용하여 고속으로 물질의
 품종을 확인하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 극저자기장
 핵자기 공명 물체 식별 방법.

[청구항 9]

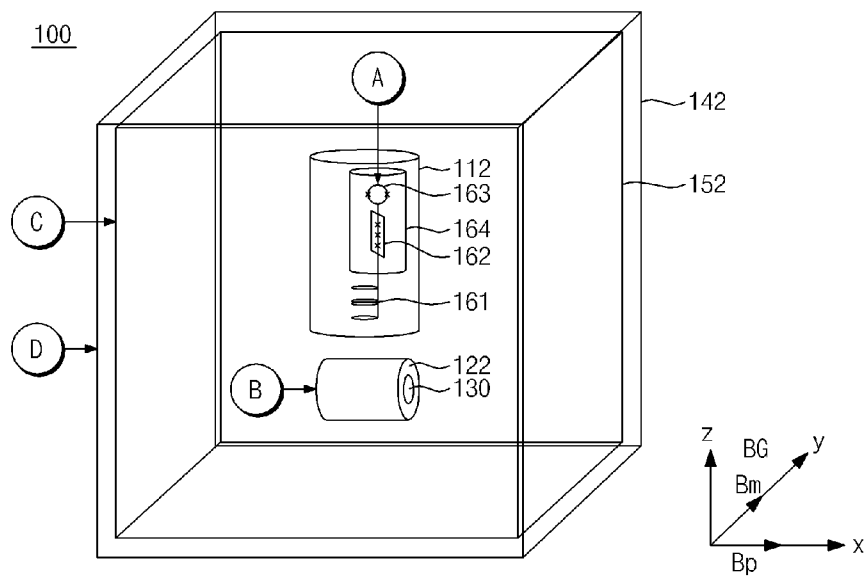
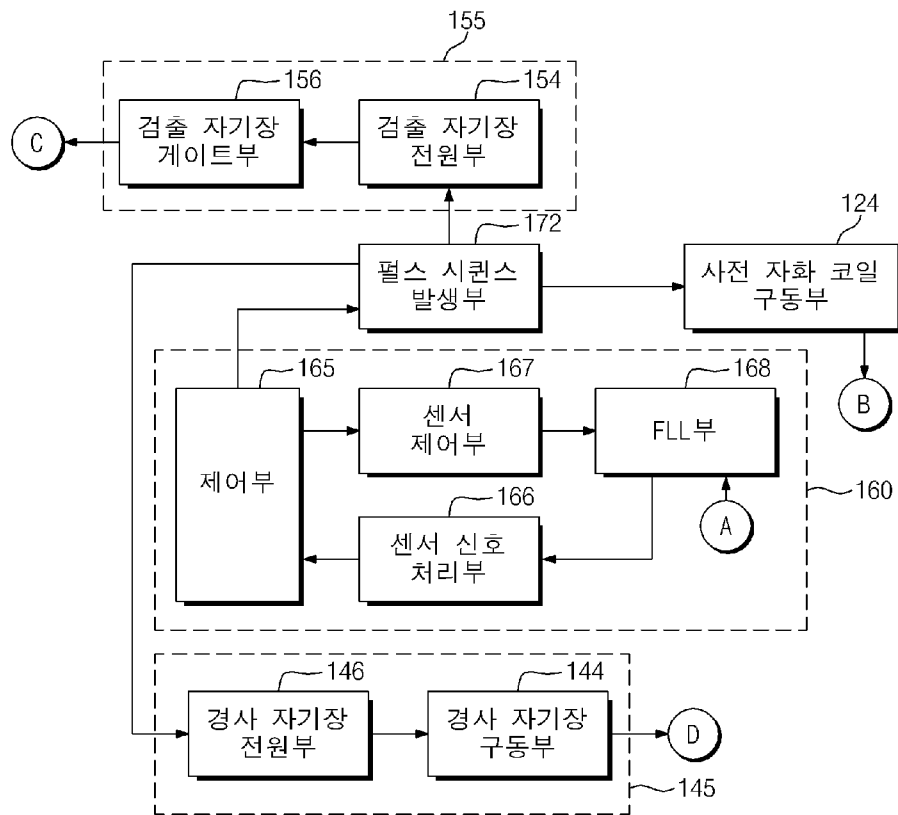
저온 액체 냉매를 담고 있는 듀아;
 측정 대상을 사전 자화시키는 사전자화 코일;
 상기 사전자화 코일에 전류를 단속적으로 인가하여 사전자화
 자기장(Bp)을 형성하는 사전자화 코일 구동부;
 상기 사전자화 코일에 의하여 상기 사전자화 자기장(Bp)이
 인가되는 측정 대상에 의한 핵자기 공명 신호를 측정하는 센서부;
 측정 대상에 검출 자기장을 인가하는 검출 코일; 및
 상기 검출 코일에 전류를 인가하여 상기 측정 대상에 검출
 자기장(readout magnetic field)을 인가하는 검출 자기장 전원부를
 포함하고,
 상기 센서부는 상기 측정 대상에 복수의 사전 자화 자기장의
 세기에서 각각의 스핀-격자 완화 시간(T1)을 측정하고, 상기
 스핀-격자 완화 시간을 이용하여 상기 측정 대상을 분류하는 것을
 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체 식별 장치.

[청구항 10]

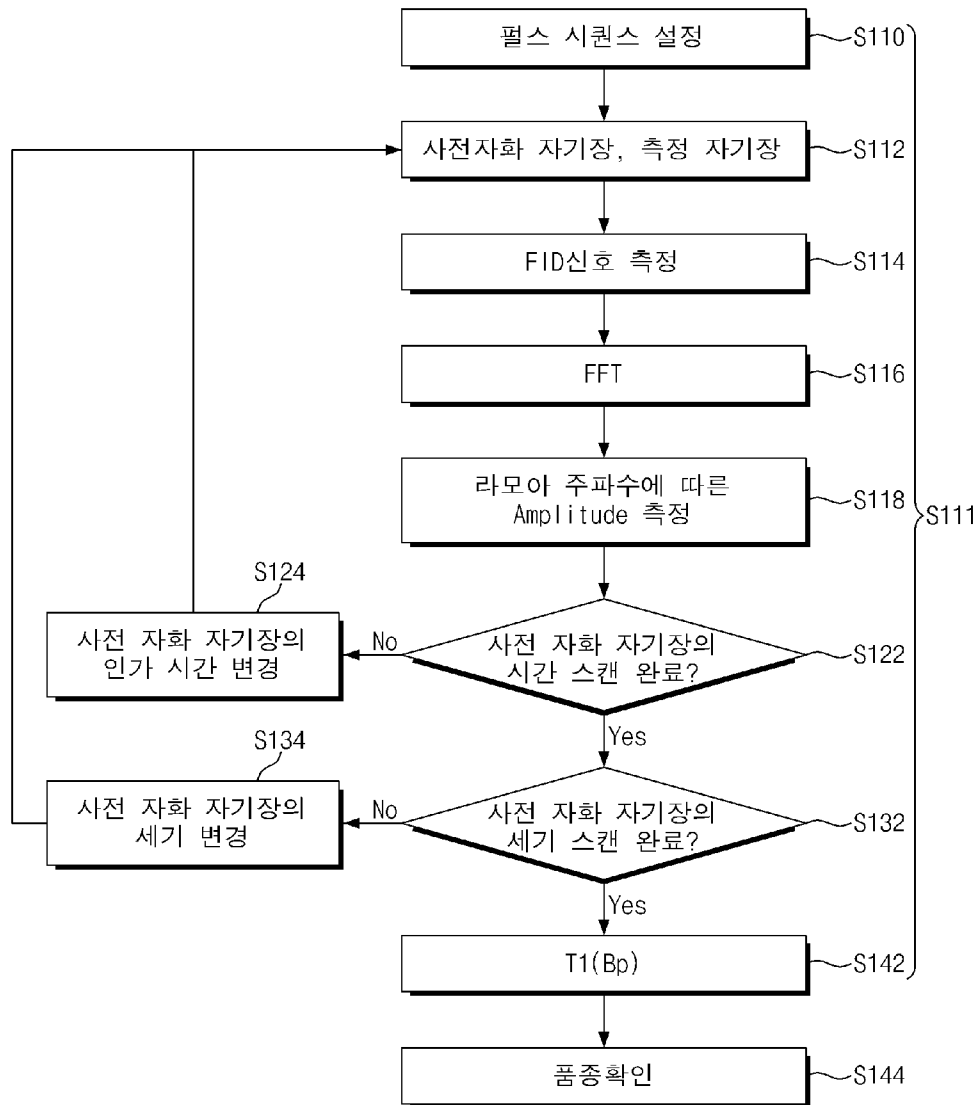
제9 항에 있어서,

상기 측정 대상에 경사 자기장을 인가하는 경사 자기장 코일;
상기 경사 자기장 코일에 전류를 공급하는 경사 자기장 구동부;
상기 경사 자기장 구동부에 전원을 제공하는 경사 자기장 전원부;
및
상기 사전 자화 코일 구동부, 상기 검출 자기장 전원부, 및 검출
자기장 전원부에 펄스 스퀀스를 제공하는 펄스 시퀀스 발생부를
더 포함하는 것을 특징으로 하는 극저자기장 핵자기 공명 물체
식별 장치.

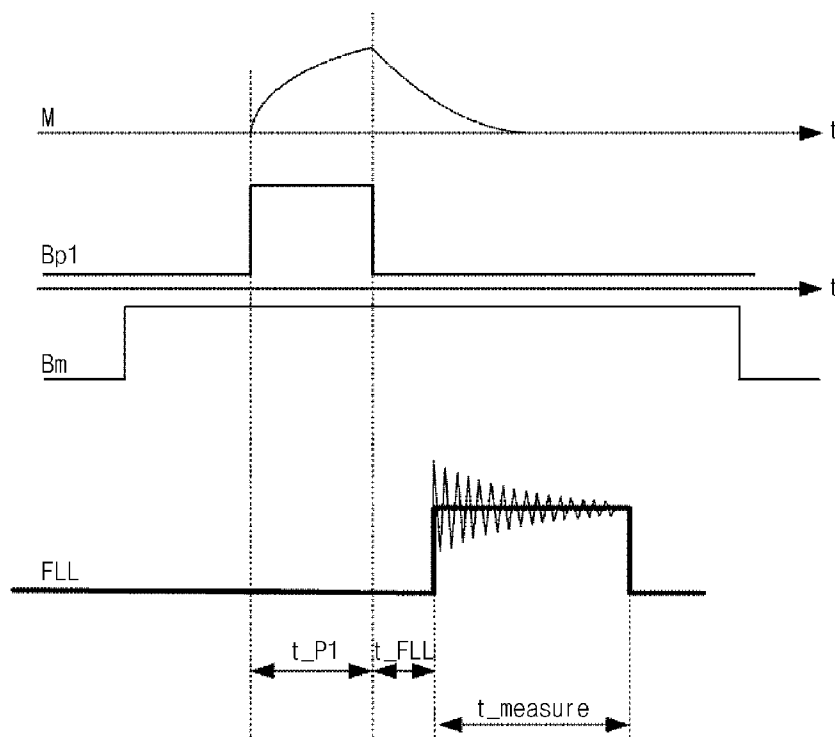
[Fig. 1]



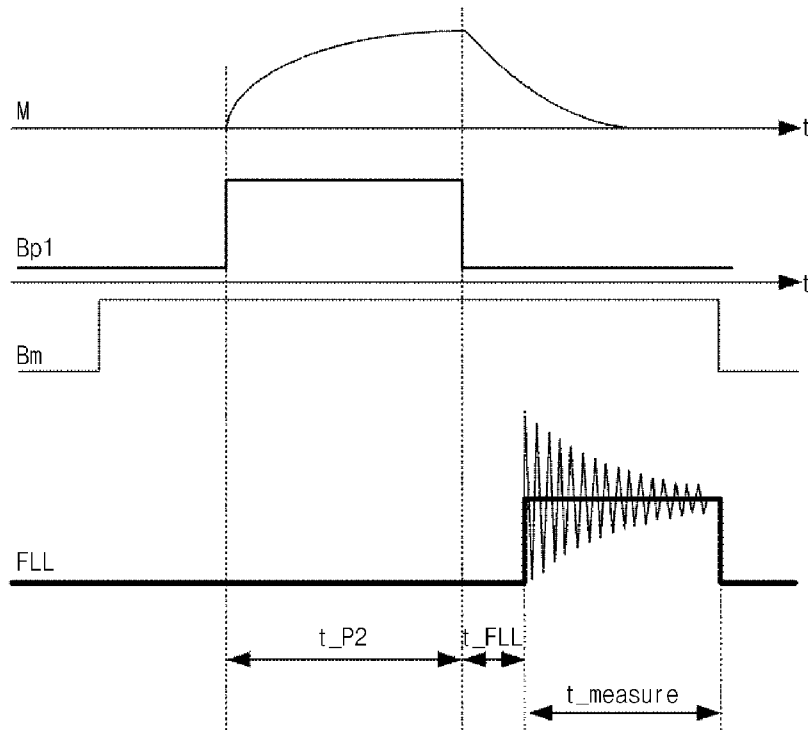
[Fig. 2]



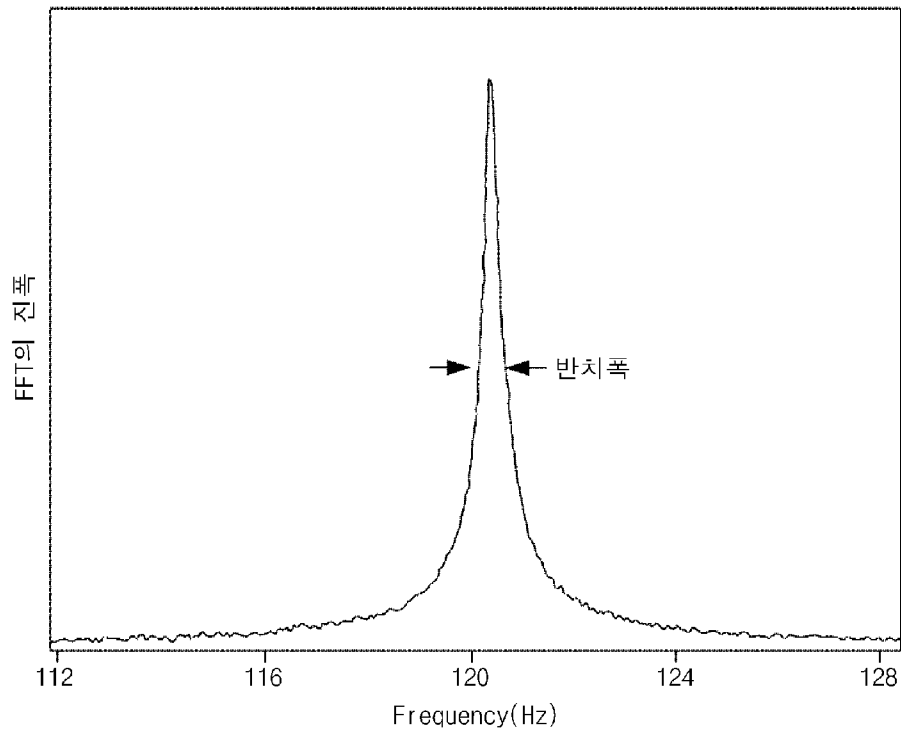
[Fig. 3a]



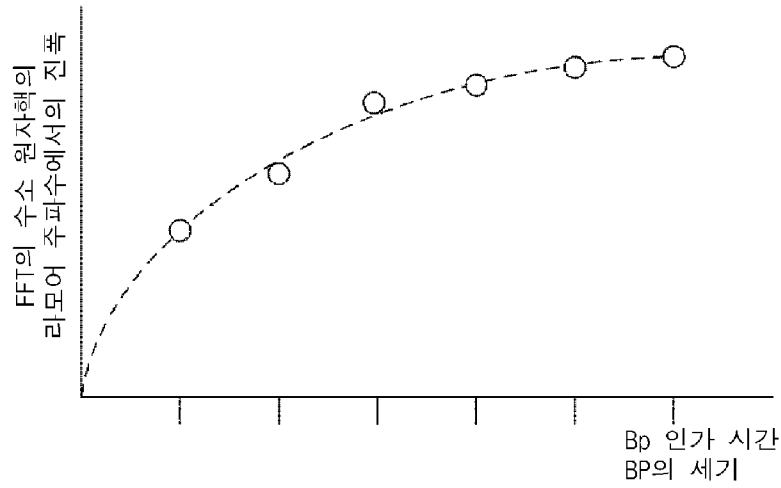
[Fig. 3b]



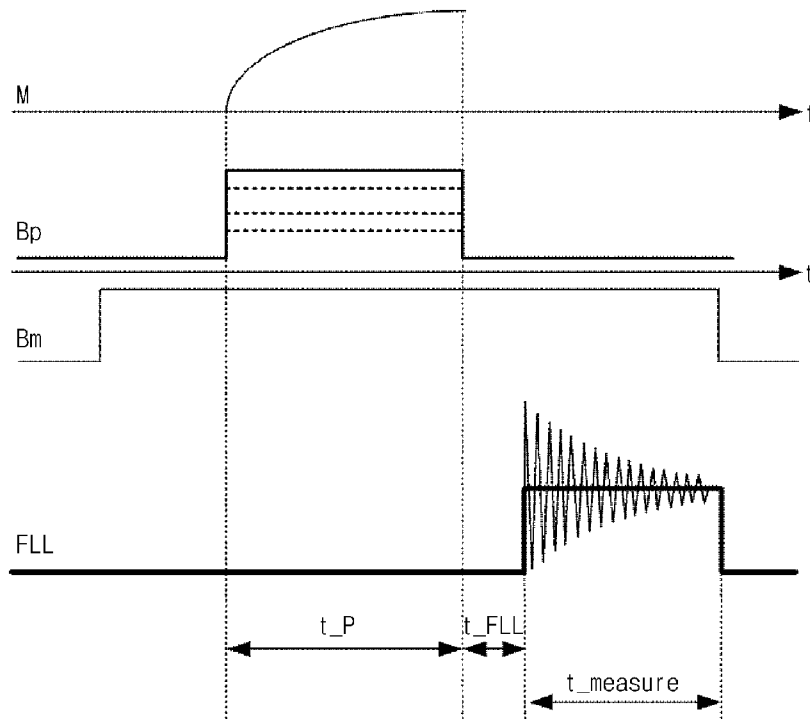
[Fig. 4]



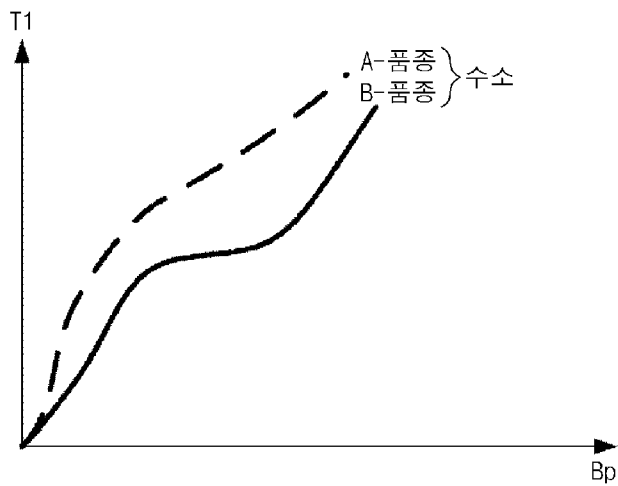
[Fig. 5]



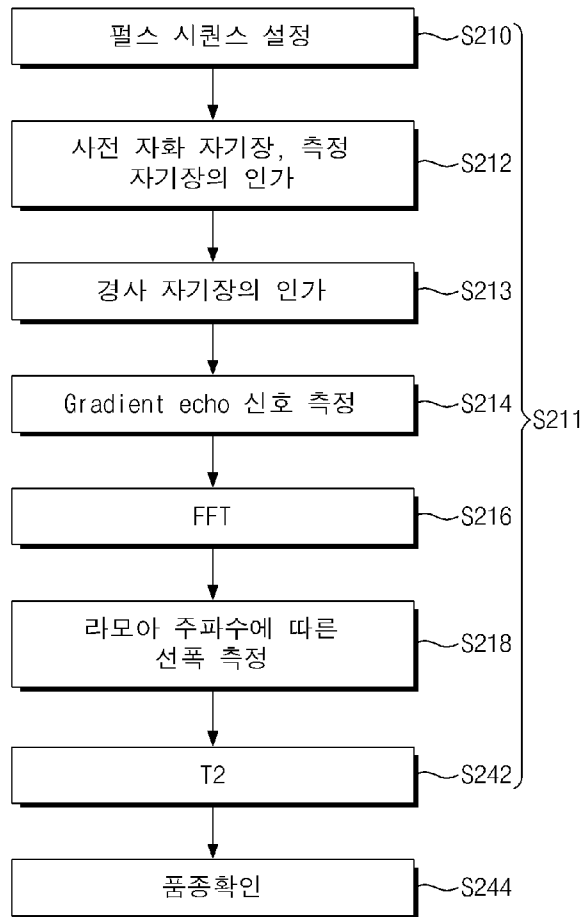
[Fig. 6]



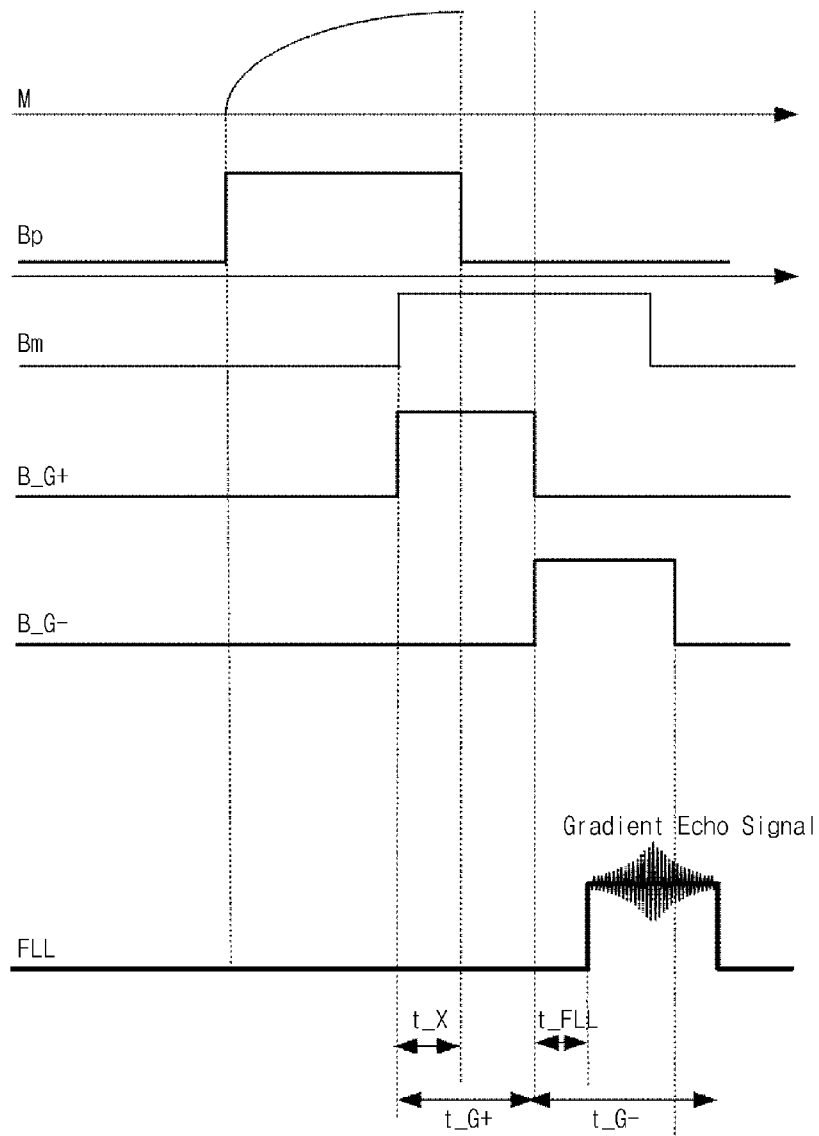
[Fig. 7]



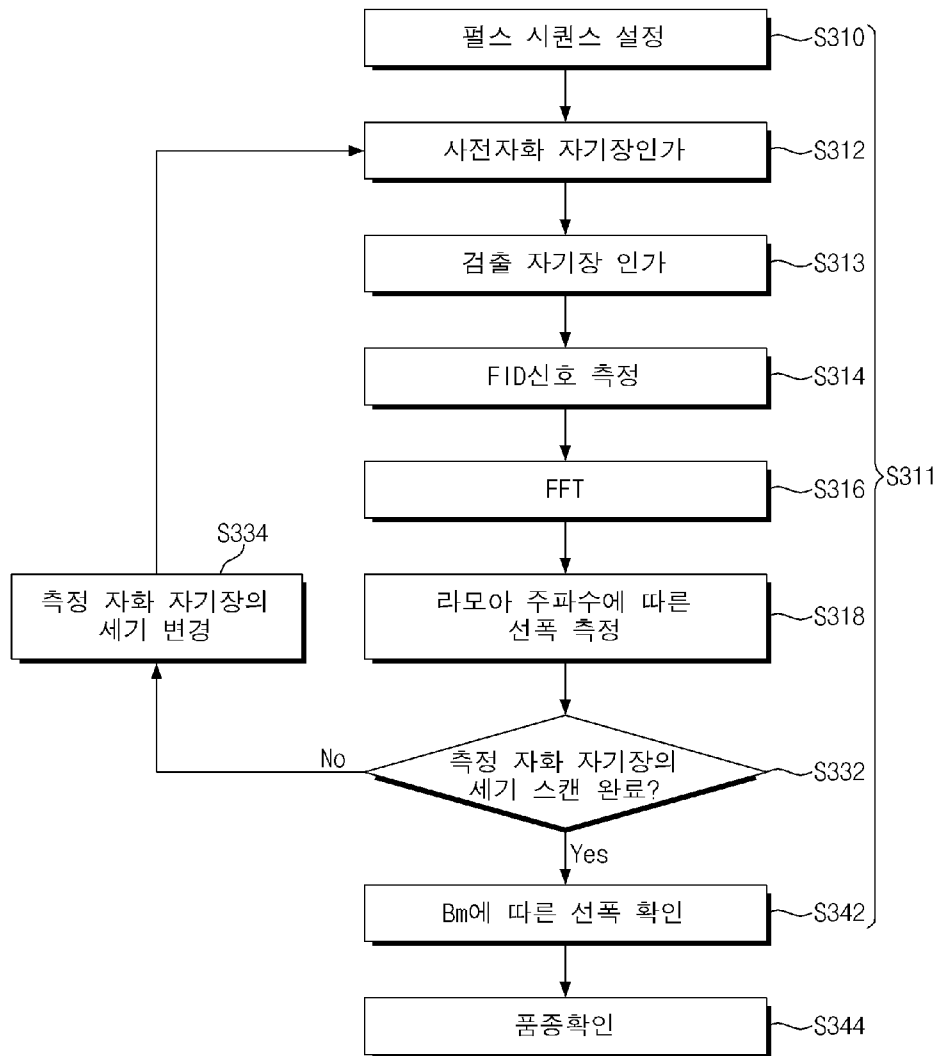
[Fig. 8]



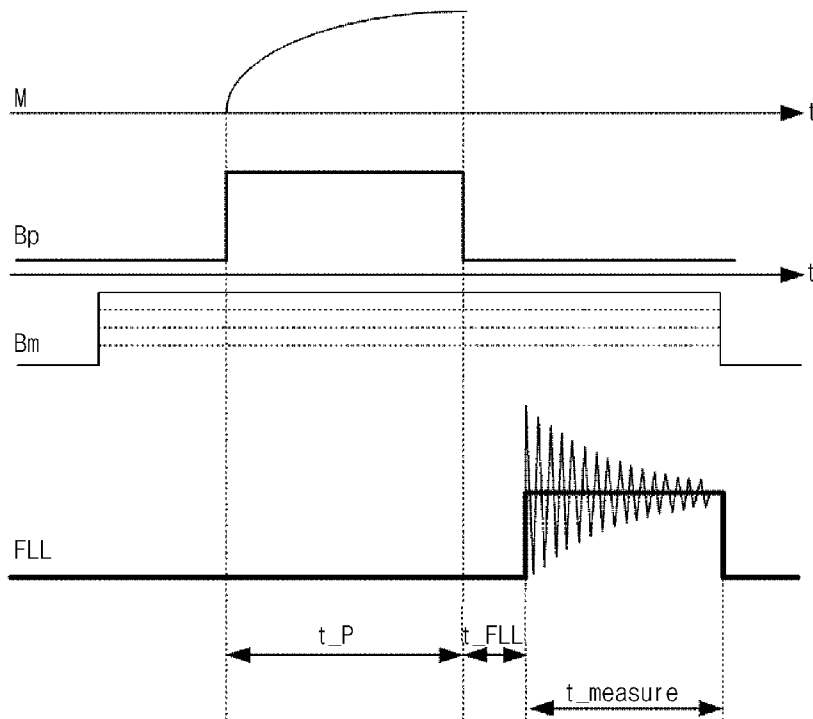
[Fig. 9]



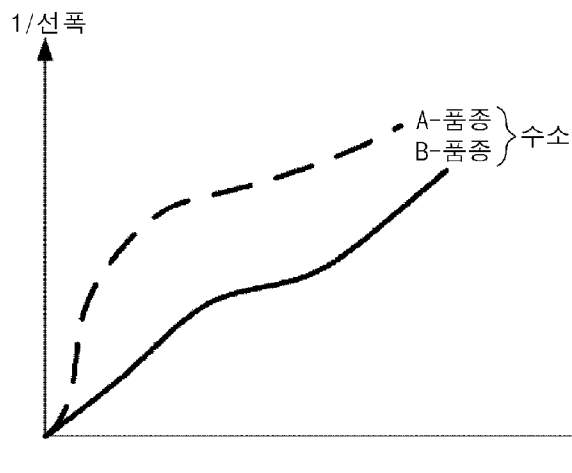
[Fig. 10]



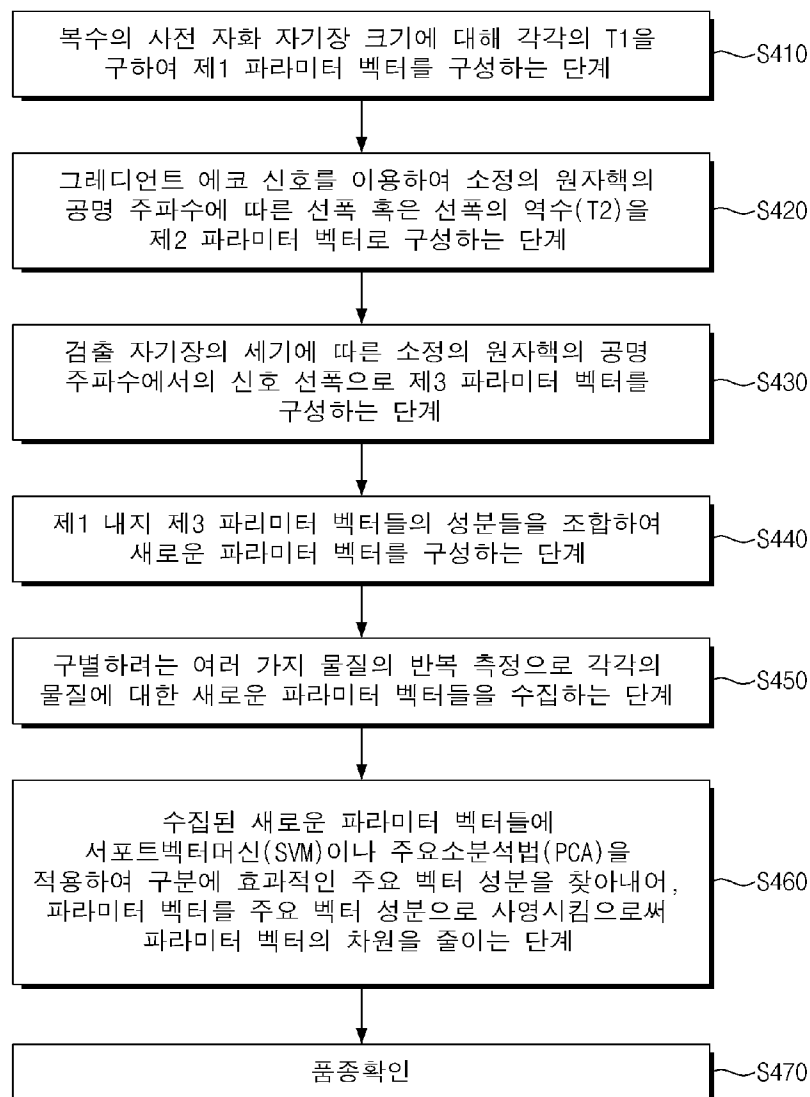
[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2012/008426**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****G01N 24/08(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)

G01N 24/08; A61B 5/055; A01G 7/00

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: nuclear magnetism, resonance, spin, lattice, release, object, identification

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 07-198636 A (YAMAMOTO MFG CO LTD) 01 August 1995 See abstract; paragraphs [0012]-[0033]; figures 1-4.	1,3,5,9,10 2,4,6-8
Y A	KR 10-2011-0031723 A (KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE) 29 March 2011 See abstract; paragraphs [0024]-[0105]; claim 10; figures 1-13.	1,3,5,9,10 2,4,6-8
A	JP 10-142175 A (JEOL LTD) 29 May 1998 See abstract; paragraphs [0009]-[0022]; figures 1-10.	1-10
A	JP 2008-229048 A (HAMANO LIFE SCIENCE RESEARCH FOUNDATION) 02 October 2008 See paragraphs [0014]-[0047]; figures 1-9.	1-10



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

"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

04 MARCH 2013 (04.03.2013)

Date of mailing of the international search report

08 MARCH 2013 (08.03.2013)

Name and mailing address of the ISA/KR



Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Daejeon 302-701,
Republic of Korea

Facsimile No. 82-42-472-7140

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2012/008426

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member	Publication date
JP 07-198636 A	01.08.1995	NONE	
KR 10-2011-0031723 A	29.03.2011	KR 10-1050153 B1 US 2011-0068789 A1 US 8350568 B2	19.07.2011 24.03.2011 08.01.2013
JP 10-142175 A	29.05.1998	NONE	
JP 2008-229048 A	02.10.2008	NONE	

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G01N 24/08(2006.01)i																	
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G01N 24/08; A61B 5/055; A01G 7/00 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: 핵자기, 공명, 스핀, 격자, 완화, 물체, 식별																	
C. 관련 문헌 <table border="1"> <thead> <tr> <th>카테고리*</th> <th>인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재</th> <th>관련 청구항</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y A</td> <td>JP 07-198636 A (YAMAMOTO MFG CO LTD) 1995.08.01 요약서; 단락 [0012]-[0033]; 도면 1-4 참조.</td> <td>1,3,5,9,10 2,4,6-8</td> </tr> <tr> <td>Y A</td> <td>KR 10-2011-0031723 A (한국표준과학연구원) 2011.03.29 요약서; 단락 [0024]-[0105]; 청구항 10; 도면 1-13 참조.</td> <td>1,3,5,9,10 2,4,6-8</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 10-142175 A (JEOL LTD) 1998.05.29 요약서; 단락 [0009]-[0022]; 도면 1-10 참조.</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2008-229048 A (HAMANO LIFE SCIENCE RESEARCH FOUNDATION) 2008.10.02 단락 [0014]-[0047]; 도면 1-9 참조.</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항	Y A	JP 07-198636 A (YAMAMOTO MFG CO LTD) 1995.08.01 요약서; 단락 [0012]-[0033]; 도면 1-4 참조.	1,3,5,9,10 2,4,6-8	Y A	KR 10-2011-0031723 A (한국표준과학연구원) 2011.03.29 요약서; 단락 [0024]-[0105]; 청구항 10; 도면 1-13 참조.	1,3,5,9,10 2,4,6-8	A	JP 10-142175 A (JEOL LTD) 1998.05.29 요약서; 단락 [0009]-[0022]; 도면 1-10 참조.	1-10	A	JP 2008-229048 A (HAMANO LIFE SCIENCE RESEARCH FOUNDATION) 2008.10.02 단락 [0014]-[0047]; 도면 1-9 참조.	1-10
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항															
Y A	JP 07-198636 A (YAMAMOTO MFG CO LTD) 1995.08.01 요약서; 단락 [0012]-[0033]; 도면 1-4 참조.	1,3,5,9,10 2,4,6-8															
Y A	KR 10-2011-0031723 A (한국표준과학연구원) 2011.03.29 요약서; 단락 [0024]-[0105]; 청구항 10; 도면 1-13 참조.	1,3,5,9,10 2,4,6-8															
A	JP 10-142175 A (JEOL LTD) 1998.05.29 요약서; 단락 [0009]-[0022]; 도면 1-10 참조.	1-10															
A	JP 2008-229048 A (HAMANO LIFE SCIENCE RESEARCH FOUNDATION) 2008.10.02 단락 [0014]-[0047]; 도면 1-9 참조.	1-10															
☐ 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 “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 신구성 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 2013년 03월 04일 (04.03.2013)		국제조사보고서 발송일 2013년 03월 08일 (08.03.2013)															
ISA/KR의 명칭 및 우편주소  대한민국 특허청 (302-701) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 82-42-472-7140		심사관 김형근 전화번호 82-42-481-8245 															

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 07-198636 A	1995.08.01	없음	
KR 10-2011-0031723 A	2011.03.29	KR 10-1050153 B1 US 2011-0068789 A1 US 8350568 B2	2011.07.19 2011.03.24 2013.01.08
JP 10-142175 A	1998.05.29	없음	
JP 2008-229048 A	2008.10.02	없음	