



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0083269
(43) 공개일자 2013년07월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G11B 9/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2012-0003954

(22) 출원일자 2012년01월12일

심사청구일자 2012년01월12일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)

(72) 발명자

함병승

인천광역시 남구 송의동 159-1 광해리드빌 103-1213

(74) 대리인

이은철

전체 청구항 수 : 총 10 항

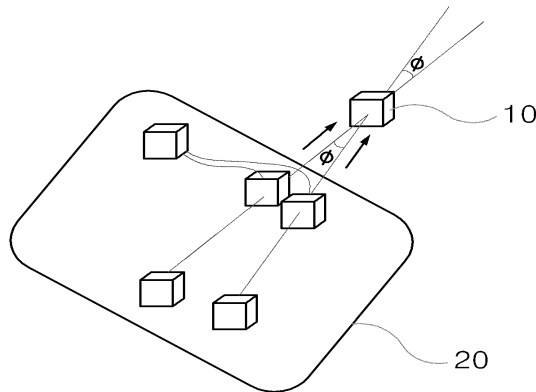
(54) 발명의 명칭 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리 및 이의 이중위상반전된 포톤에코 방법

(57) 요약

본 발명은 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리에 관한 것으로서, 세 개의 에너지 준위 $|1\rangle$, $|2\rangle$, $|3\rangle$ 를 갖고, 광펄스발생부로부터 광펄스를 입력 받아 위상맞춤조건을 만족하는 출력광을 생성하는 광매질; 및 상기 광매질의 에너지 준위 사이에서 공진하는 최소 5개의 광펄스를 생성하는 광펄스발생부; 를 포함한다.

상기와 같은 본 발명에 따르면, 위상반전광1 및 위상반전광2를 통한 이중위상반전으로 전통적인 포톤에코에서의 양자소음을 제거함으로써, 포톤에코방식을 양자메모리에서 적용할 수 있는 효과가 있고, 광-스핀 결맞음 치환현상을 이용함으로써, 포톤에코의 저장시간을 연장시키는 효과도 있다.

대표도 - 도1a



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2006-0050685

부처명 교육과학기술부

연구사업명 창의적연구지원사업

연구과제명 광양자정보처리연구단

주관기관 인하대학교 산학협력단

연구기간 2011.03.01 ~ 2012.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리에 있어서,

세 개의 에너지 준위 $|1\rangle$, $|2\rangle$, $|3\rangle$ 를 갖고, 광펄스발생부(20)로부터 광펄스를 입력 받아 위상맞춤조건을 만족하는 출력광(E1)을 생성하는 광매질(10); 및

상기 광매질(10)의 에너지 준위 사이에서 공진하는 최소 5개의 광펄스를 생성하는 광펄스발생부(20); 를 포함하는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 세 개의 에너지 준위는,

바닥상태인 $|1\rangle$ 및 $|2\rangle$ 와 들뜬상태인 $|3\rangle$ 로 구성되는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 최소 5개의 광펄스는,

상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|1\rangle$ 과 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 입력광(D)과 위상반전광1(R1) 중 어느 하나 이상을 포함하는 제1광펄스군(f1);

상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|2\rangle$ 와 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 제1조절광(B1)을 포함하는 제2광펄스군(f2); 및

상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|1\rangle$ 과 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 위상반전광2(R2)와 상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|2\rangle$ 와 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 제2조절광(B2)을 포함하는 제3광펄스군(f3); 을 포함하는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 출력광(E1)은,

위상반전광2(R2)(소음제거)를 통해 최종출력광(E2)을 생성하는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 최종출력광(E2)은,

위상반전광1(R1) 및 위상반전광2(R2)를 통한 이중위상반전으로 생성되는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 최종출력광(E2)는,

입력광(D), 위상반전광1(R1), 위상반전광2(R2), 제1조절광(B1) 및 제2조절광(B2) 간의 연산을 통해 이루어지는 위상맞춤조건에 만족하는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 위상맞춤조건은 다음의 [수식 1] 및 [수식 2]를 통해 산출되는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

[수학식 1]

$$k_{E2} = 2k_{R2} - k_{E1} = 2k_{R2} - k_D + k_{B1} - k_{B2}$$

[수학식 2]

$$f_{E2} = 2f_{R2} - f_{E1} = 2f_{R2} - f_D + f_{B1} - f_{B2}$$

여기서, k_i 는 광펄스 i의 진행파벡터(propagation vector)이고, f_i 는 광펄스 i의 주파수이다.

청구항 8

제 3항에 있어서,

상기 제2광펄스군(f2)는,

상기 제1광펄스군(f1)의 위상반전광1(R1) 펄스에 의해 들뜬 원자들을 에너지 준위 |2>로 전이시키는 제1조절광(B1)과 에너지 준위 |2>에서 |3>으로 전이시키는 제2조절광(B2)를 포함하는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 9

제 3항에 있어서,

상기 입력광(D)은,

하나 또는 복수개의 펄스로 구성되는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리.

청구항 10

이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 이중위상반전된 포톤에코 방법에 있어서,

(a) 입력광(D)이 광매질(10)로 입사하여 위상격자(광결맞음)를 만드는 단계;

(b) 위상반전광1(R1)이 상기 광매질(10)로 입사하여 상기 위상격자의 위상전개를 거꾸로 하는 단계;

- (c) 제1조절광(B1)이 상기 광매질(10)로 입사하여 상기 위상격자를 스핀위상격자(스핀결맞음)으로 치환하는 단계;
- (d) 제2조절광(B2)이 상기 광매질(10)로 입사하여 스핀결맞음을 광결맞음으로 되돌리는 단계;
- (e) 출력광(E1)이 생성되는 단계; 및
- (f) 최종출력광(E2)이 위상반전광2(R2)에 의해 생성되는 단계; 를 포함하는 것을 특징으로 하는 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 이중위상반전된 포톤에코 방법.

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리에 관한 것으로 더욱 상세하게는, 세 개의 에너지 준위를 갖는 비선형 광매질과 광매질의 에너지 준위 사이에서 공진하는 최소 5개의 광펄스를 이용한 변형된 포톤에코 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 컴퓨터와 같은 정보처리에 있어 메모리는 논리연산회로의 핵심부품을 구성한다. 현재 시장에 통용되고 있는 고전적인 메모리와는 달리 양자메모리는 임의의 양자상태를 저장하고 임의의 시간 후에 저장된 양자상태를 재생해야 하는데, 그 재생충실도는 67% 이상을 요구한다.
- [0003] 또한, 장거리 양자통신을 위해서는 양자신호감쇄를 회복시켜 줄 양자리피터가 필요한데, 이 양자 리피터의 핵심 요소가 양자메모리가 되는데, 그 필요조건은 1초 이상의 장시간 저장시간이다. 하지만, 지금까지 알려진 최장의 양자메모리 저장시간은 수십 밀리 초에 불과하다.
- [0004] 한편, 포톤에코는 두 에너지 준위를 갖는 매질에 공진하는 빛을 통해 생성된 원자결맞음의 상이한 위상전이를 이용하는 방식으로, 두 에너지 준위의 밀도를 교환하는 p-펄스에 의한 위상반전을 이용하여 초기 생성된 원자위를 시간축에서 가역적으로 회복하는 원리이다.
- [0005] 이때, 매질을 구성하는 비균질(inhomogeneous) 원자들은 공진하는 빛에 대해 무작위적인 스펙트럼 분포를 갖는데, 위상전이속도는 바로 이 무작위적 스펙트럼분포에 비례하며, 그 분포가 넓으면 넓을수록 전체 위상결맞음이 쉽게 사라지게 된다.
- [0006] 그러나, 매질의 밀도를 반전시키는 p-펄스가 적용되면, 위상전이는 시간축의 반대방향으로 진행하게 되어 가역적인 위상진행 효과를 보게되어 일정시간 후에는 최초 원자결맞음을 회복하게 된다. 바로 이 회복된 원자결맞음을 포톤에코라 부르는데, 포톤에코와 매질의 밀도반전은 불가분의 관계에 있다.
- [0007] 즉, 포톤에코는 역전된 밀도분포 또는 밀도반전 환경에서 필연적으로 자발방출(spontaneous emission) 또는 자극방출(stimulated emission)을 동반한다.
- [0008] 또한, 고전 광정보처리에서 자극방출현상은 신호이득으로 작용하나, 양자정보에 있어서는 양자상태 복제불가원리에 따라, 자발방출 또는 자극방출은 소음으로 작용하기 때문에 포톤에코방식이 원천적으로 양자메모리에 적용될 수 없다.
- [0009] 종래 양자메모리 방법과 관련해서는, 한국공개특허 10-2010-0016999호(이하 '선행문헌') 외에 다수 출원 및 공개되어 있다.
- [0010] 선행문헌에 따른 양자메모리 방법은, 에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제2 바닥상태와, 상기 제1 바닥상태와 상기 제2 바닥상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와; 상기 제1 및 제2 바닥상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥상태를 포함하고, 상기 제1 바닥상태와 상기 제2 바닥상태에서 상기 들뜬상태로 2광자 전이되어 상기 스핀 결맞음이 유도된 후, 상기 근접 바닥상태로 전이되어 상기 스핀 결맞음의 위상이 동결됨으로써 데이터를 저장하는 양자메모리; 를 포함한다.
- [0011] 전술한 바와 같은 선행문헌은, 광전이 비균질확장성을 이용하는 본 포톤에코에 기초한 양자메모리와는 달리, 스핀 비균질 확장성에 기초하여, 광데이터를 라만결맞음을 이용하여 스핀에 저장하는 것으로서, 스핀 밀도 감쇄

시간에 따라 수 분에서 수 시간까지 확장시킬 수 있으나, 자발방출 또는 자극방출로 인한 양자소음을 근본적으로 해결하지 못하는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 감안하여 안출된 것으로, 위상반전광1(R1) 및 위상반전광2(R2)를 통한 이중위상반전으로 소음을 제거함으로써, 포톤에코방식을 양자메모리에서 직접적으로 적용할 수 있게 하고, 광-스핀 결맞음 치환현상을 이용함으로써, 포톤에코의 저장시간 연장을 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0013] 이러한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명의 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리는, 세 개의 에너지 준위 $|1\rangle$, $|2\rangle$, $|3\rangle$ 를 갖고, 광펄스발생부로부터 광펄스를 입력 받아 위상맞음조건을 만족하는 출력광을 생성하는 광매질; 및 광매질의 에너지 준위 사이에서 공진하는 최소 5개의 광펄스를 생성하는 광펄스발생부;를 포함한다.
- [0014] 또한, 세 개의 에너지 준위는 바닥상태인 $|1\rangle$ 및 $|2\rangle$ 와 들뜬상태인 $|3\rangle$ 로 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0015] 또한, 최소 5개의 광펄스는 광매질의 에너지 준위 $|1\rangle$ 과 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 입력광과 위상반전광1 중 어느 하나 이상을 포함하는 제1광펄스군; 광매질의 에너지 준위 $|2\rangle$ 와 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 제1조절광을 포함하는 제2광펄스군; 및 광매질의 에너지 준위 $|1\rangle$ 과 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 위상반전광2와 광매질의 에너지 준위 $|2\rangle$ 와 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 제2조절광을 포함하는 제3광펄스군;을 포함한다.
- [0016] 또한, 출력광은 위상반전광2(소음제거)를 통해 최종출력광을 생성하는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 또한, 최종출력광은, 위상반전광1 및 위상반전광2를 통한 이중위상반전으로 생성되는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 최종출력광은 입력광, 위상반전광1, 위상반전광2, 제1조절광 및 제2조절광 간의 연산을 통해 이루어지는 위상맞음조건에 만족하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 또한, 위상맞음조건은 다음의 [수식 1] 및 [수식 2]를 통해 산출되는 것을 특징으로 한다.

- [0020] [수학식 1]

$$k_{E2}=2k_{R2}-k_{E1}=2k_{R2}-k_D+k_{B1}-k_{B2}$$

- [0021]

- [0022] [수학식 2]

$$f_{E2}=2f_{R2}-f_{E1}=2f_{R2}-f_D+f_{B1}-f_{B2}$$

- [0023]

- [0024] 여기서, k_i 는 광펄스 i의 진행파벡터(propagation vector)이고, f_i 는 광펄스 i의 주파수이다.

- [0025] 또한, 제2광펄스군은, 제1광펄스군의 위상반전광1 펄스에 의해 들뜬 원자들을 에너지 준위 $|2\rangle$ 로 전이시키는 제1조절광과 에너지 준위 $|2\rangle$ 에서 $|3\rangle$ 으로 전이시키는 제2조절광을 포함하는 것을 특징으로 한다.

- [0026] 또한, 입력광은, 하나 또는 복수개의 펄스로 구성되는 것을 특징으로 한다.

- [0027] 그리고, 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 이중위상반전된 포톤에코 방법은 입력광이 광매질로 입사하여 위상격자(광결맞음)를 만드는 (a) 단계; 위상반전광1이 광매질로 입사하여 상기 위상격자의 위상전개를 거꾸로 하는 (b) 단계; 제1조절광이 광매질로 입사하여 위상격자를 스핀위상격자(스핀결맞음)으로 치환하는 (c) 단계; 제2조절광이 광매질로 입사하여 스핀결맞음을 광결맞음으로 되돌리는 (d) 단계; 출력광이 생성되는 (e) 단계; 및 최종출력광이 위상반전광2에 의해 생성되는 (f) 단계;를 포함한다.

발명의 효과

- [0028] 상기와 같은 본 발명에 따르면, 위상반전광1(R1) 및 위상반전광2(R2)를 통한 이중위상반전으로 소음을 제거함으

로써, 포톤에코방식을 양자메모리에서 직접 적용할 수 있는 효과가 있고, 광-스핀 결맞음 치환현상을 이용함으로써, 포톤에코의 저장시간을 연장시키는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1의 (a)는 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 구성도.
- 도 1의 (b)는 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 광펄스와 상호 작용하는 광매질의 에너지 준위.
- 도 1의 (c)는 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 광펄스 적용순서.
- 도 1의 (d)는 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 일실시예도.
- 도 2는 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 이중위상반전된 포톤에코 방법에 대한 흐름도.
- 도 3은 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 전사모사에 관한 일예시도.
- 도 4는 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 다중 데이터펄스의 전산모사에 관한 일예시도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 본 발명의 구체적인 특징 및 이점들은 첨부도면에 의거한 다음의 상세한 설명으로 더욱 명백해질 것이다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 발명자가 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야 할 것이다. 또한, 본 발명에 관련된 공지 기능 및 그 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는, 그 구체적인 설명을 생략하였음에 유의해야 할 것이다.

[0031] 이하, 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리에 대해 첨부한 예시도면을 토대로 상세히 설명한다.

[0032] 도 1은 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리에 대한 구성도(a), 광펄스와 상호 작용하는 광매질의 에너지 준위(b), 광펄스 적용순서(c) 및 세부 구성도(d)이다.

[0033] 도 1의 (a)에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일실시예에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리는 광매질(10)과 상기 광매질(10)의 에너지 준위 사이에서 공진하는 최소 5개의 광펄스를 생성하는 광펄스발생부(20)를 포함하여 구성된다.

[0034] 또한, 도 1의 (b)에 도시된 바와 같이, 광매질(10)은 비선형 광학 특성을 가지고 있으며, $|1\rangle$, $|2\rangle$, $|3\rangle$ 을 포함하는 세 개의 에너지 준위로 구성된다.

[0035] 이때, 상기 세 개의 에너지 준위에서 $|1\rangle$ 및 $|2\rangle$ 는 바닥상태이고 $|3\rangle$ 은 들뜬상태이며 세 개의 에너지 준위 중 가장 에너지 준위가 높고, $|1\rangle$ 의 에너지 준위가 $|2\rangle$ 의 에너지 준위보다 높다.

[0036] 또한, 도 1의 (c)에 도시된 바와 같이, 광펄스발생부(20)로부터 생성된 최소 5개의 광펄스는 상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|1\rangle$ 과 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 입력광(D)과 위상반전광1(R1) 중 어느 하나 이상을 포함하는 제1광펄스군(f1), 상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|2\rangle$ 와 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 제1조절광(B1)을 포함하는 제2광펄스군(f2) 및 상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|1\rangle$ 과 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 위상반전광2(R2)와 상기 광매질(10)의 에너지 준위 $|2\rangle$ 와 $|3\rangle$ 사이에서 공진하는 제2조절광(B2)을 포함하는 제3광펄스군(f3)인 것을 특징으로 한다.

[0037] 이때, 상기 최소 5개의 광펄스는 광섬유, 표면플라즈몬 또는 자유공간을 통해 상기 광매질(10)로 입사한다.

[0038] 또한, 상기 제1광펄스군(f1)은 전형적인 포톤에코를 위한 것이며, 상기 제2광펄스군(f2)은 상기 제1광펄스군

(f1)의 위상반전광1(R1) 펄스에 의해 들뜬 원자들을 에너지 준위 $|2\rangle$ 로 전이시키는 제1조절광(B1)과 제1광펄스군(f1)의 위상반전광1(R1) 펄스에 의해 들뜬 원자들을 에너지 준위 $|2\rangle$ 에서 $|3\rangle$ 으로 전이시키는 제2조절광(B2)를 포함하고, 상기 제1광펄스군(f1)과 제2광펄스군(f2)은 서로 다른 파장이나 극성을 갖는 빛을 이용한다.

[0039] 또한, 상기 입력광(D)은 하나 또는 복수개로 구성되고 위상반전광1(R1)의 시간 간격은 광위상전이시간보다 짧되 손실에 의한 결맞음 손실을 최소화하는 시간 간격인 것을 특징으로 한다.

[0040] 또한, 제1조절광(B1)과 제2조절광(B2)의 시간 간격은 스핀위상전이 시간보다 짧아야 한다.

[0041] 또한, 출력광(E1)은 세 개의 에너지 준위 $|1\rangle$, $|2\rangle$ 및 $|3\rangle$ 를 갖는 비선형 광매질(10)과 상기 광매질(10)에 입사되는 최소 5개의 광펄스 사이에 상호작용을 통해 생성된다.

[0042] 이때, 상기 출력광(E1)은 동일한 π -펄스를 갖는 제1조절광(B1)과 제2조절광(B2)을 통해 원자결맞음의 위상이득이 π 가 되고 위상반전광1(R1)에 의한 위상이득 π 와 함께 총 2π 의 위상전이를 갖게되어, 상기 출력광(E1)의 원자결맞음은 입력광(D)과 같은 흡수특성을 갖는다.

[0043] 한편, 상기 입력광(D)과 같은 흡수특성을 갖지 못하는 출력광(E1)은 에너지 준위 $|1\rangle$ 과 $|3\rangle$ 의 밀도반전에 따라 어떠한 원자흡수 및 방출이 불가하여 원자결맞음에 아무런 영향을 미치지 못하는 상황 즉, 고요한 에코(silent echo)가 된다.

[0044] 그리고, 최종출력광(E2)은 세 개의 에너지 준위 $|1\rangle$, $|2\rangle$ 및 $|3\rangle$ 를 갖는 비선형 광매질(10)과 상기 광매질(10)에 입사되는 최소 5개의 광펄스 사이에 상호작용을 통해 생성된 출력광(E1)으로부터 소음제거를 통해 생성된다.

[0045] 상기 최종출력광(E2)은 상기 출력광(E1)이 생성되고 뒤따라오는 위상반전광2(R2)를 통해 다른 포톤에코 과정을 거쳐 생성되는데, 위상반전광1(R1) 및 위상반전광2(R2)를 통한 이중위상반전에 의해 최종 원자결맞음의 위상차 3π 즉, 방출특성을 갖는다.

[0046] 이때, 상기 최종출력광(E2)은 입력광(D), 위상반전광1(R1), 위상반전광2(R2), 제1조절광(B1) 및 제2조절광(B2)을 포함하는 위상맞춤조건(phase matching condition)을 만족하는데, 상기 위상맞춤조건은 다음의 [수학식 1] 및 [수학식 2]를 만족하는 조건이다.

[0047] [수학식 1]

$$k_{E2}=2k_{R2}-k_{E1}=2k_{R2}-k_D+k_{B1}-k_{B2}$$

[0049] [수학식 2]

$$f_{E2}=2f_{R2}-f_{E1}=2f_{R2}-f_D+f_{B1}-f_{B2}$$

[0051] 여기서, k_i 는 광펄스 i의 진행파벡터(propagation vector)이고, f_i 는 광펄스 i의 주파수이다.

[0052] 즉, 상기 [수식 1]에서 $k_{B2}=k_{R2}=-k_{B1}$ 을 만족하면 $k_{E2}=-k_D$ 가 되어 최종출력광(E2)은 입력광(D)의 위상공액(phase conjugate) 신호가 된다.

[0053] 이때, 위상공액(phase conjugate)은 위상을 갖고 진행하는 방향이 정반대가 되는 빛인데, 여기서 위상공액 구도는 전통적으로 왜곡없는 이미징처리에 쓰였으며, 포톤에코 방식에서의 에코 재흡수를 원천적으로 차단하고 최대 에코효율을 위한 중요한 방법이다.

- [0054] 도 1의 (d)를 통해서 본 발명의 일실시예를 간략히 설명하면, 입력광(D)과 위상반전광1(R1)을 포함하는 제1광펄스군(f1)과, 제1조절광(B1), 제2조절광(B2) 및 위상반전광2(R2)를 포함하는 제2광펄스군(f2)는 비선형 광매질(10)로 순차적으로 입사한다. 또한, 위상맞춤조건을 만족하는 최종출력광(E2)은 입력광(D)의 위상공액(phase conjugate)이 되어 입력광(D)의 진행방향과 정반대로 발생하며, 이는 빔가르개(30)를 통해 분리된다.
- [0055] 한편, 상술한 바와 같은 본 발명의 일실시예에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 이중위상반전된 포톤에코 방법을 정리하면, 도 2에 도시된 바와 같다.
- [0056] 먼저, 입력광(D)이 광매질(10)로 입사하여 위상격자를 만든다(S100).
- [0057] 이어서, 위상반전광1(R1)이 상기 광매질(10)로 입사하여 상기 위상격자의 위상전개(phase evolution)를 거꾸로 한다(S200).
- [0058] 뒤이어, 제1조절광(B1)이 상기 광매질(10)로 입사하여 상기 위상격자(광결맞음)를 스핀위상격자(스핀결맞음)으로 치환한다(S300).
- [0059] 이어서, 제2조절광(B2)이 상기 광매질(10)로 입사하여 스핀결맞음을 광결맞음으로 되돌린다(S400).
- [0060] 뒤이어, 출력광(E1)이 생성된다(S500).
- [0061] 그리고, 최종출력광(E2)이 위상반전광2(R2)에 의해 생성된다(S600).
- [0062] 이때, 상기 S100단계에서 위상격자는 입력광(D)의 정보가 진폭과 위상의 결맞음으로 치환되어 정보를 저장하는 것이다.
- [0063] 도 3은 본 발명에 따른 이중위상반전과 원자결맞음 위상조절에 기초한 양자메모리의 전산모사에 관한 것으로서, 도시된 바와 같이 도 1에 대한 전산모사 결과를 나타내었다.
- [0064] 먼저, 도 3의 (a)는 출력광(E1)의 흡수특성과 최종출력광(E2)의 방출특성을 보여준다. 또한, 도 3의 (b)는 최종출력광(E2)이 밀도반전 없는 상태를 만족하여 자발방출이나 자극방출에 의해 양자소음이 제거된 상태이다.
- [0065] 또한, 도 3의 (c)와 (d)는 도 2의 (a)를 모든 원자군에 대한 확장모사를 나타낸 것이다. 즉, 도 3의 (c)의 스펙트럼 합이 도 3의 (a)가 되는데, 공진하는 레이저 빛에 대한 비공진(detuning)된 원자들의 시간에 따른 위상진화를 보여준다. 도 3의 (c)와 (d)는 이러한 개별원자들의 서로 다른 위상진화속도를 보여주는데, 이 서로 다른 위상진화속도를 반전시켜주는 것이 위상반전광1(R1)이고, 그에 따른 모든 원자들의 위상회복 현상을 포톤에코라고 한다.
- [0066] 즉, 최종출력광(E2)는 출력광(E1)의 위상반전된 포톤에코이다.
- [0067] 도 4의 (a)는 도 3에서 입력광(D)이 세 개의 빛으로 구성된 것에 대한 전산모사를 나타낸 것이다. 적색선은 매질의 위상/밀도감쇄시간이 유한한 값을 가지는 경우에 대한 전산모사이다. 만일 위상/밀도감쇄시간이 0인 경우(푸른색 선), 원자결맞음의 시간에 따른 감쇄는 없어 출력광(E1)의 세기는 항상 입력광(D)의 세기와 같다.
- [0068] 그러나, 위상/밀도감쇄시간이 유한한 경우에는 시간에 따라 지수함수적으로 출력광(E1)의 세기는 감소한다.
- [0069] 또한, 도 4의 (b)는 도 4의 (a)의 블로흐 벡터(bloch vector) 표현을 나타낸 것이다. 공진주파수를 중심으로 서로 반대방향으로 비균질된 원자군은 위상진화방향이 서로 반대 방향이 되고, 위상반전광에 의한 시간역전효과로 인해 동일한 시간에 최초의 위상을 동시에 회복하는 전형적인 포톤에코 방식을 설명한다.
- [0070] 또한, 제1조절광(B1)에 의해 광결맞음이 0으로 되는 것은 광결맞음이 스핀결맞음으로 치환되는 과정을 나타내며, 제2조절광(B2)에 의해 광결맞음으로 재치환 되었을 때 위상차를 수반하는 것을 나타낸다.
- [0071] 이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것이 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함이 없이 본 발명에 대해 다수의 변경 및 수정이 가능함을 당업자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한

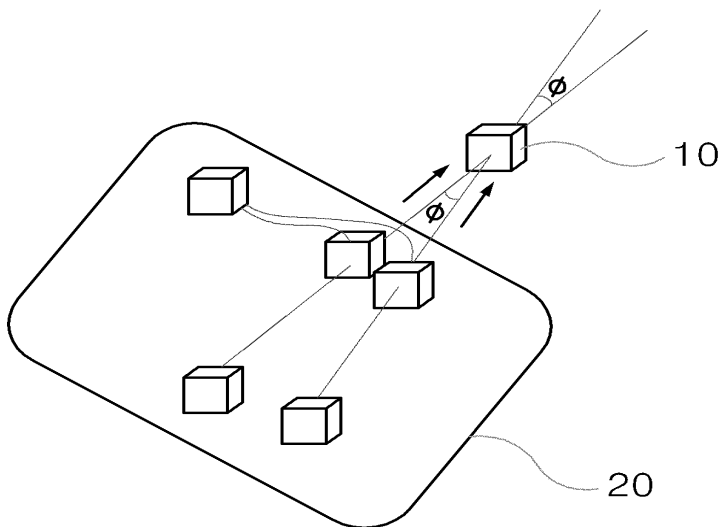
모든 적절한 변경 및 수정과 균등 물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

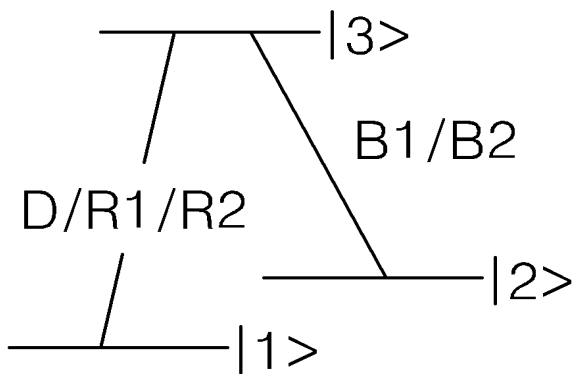
10: 광매질	20: 광펄스발생부
1>: 제1에너지 준위	2>: 제2에너지 준위
3>: 제3에너지 준위	D: 입력광
R1: 위상반전광1	R2: 위상반전광2
B1: 제1조절광	B2: 제2조절광
f1: 제1광펄스군	f2: 제2광펄스군
f3: 제3광펄스군	E1: 출력광
E2: 최종출력광	30: 빔가르개

도면

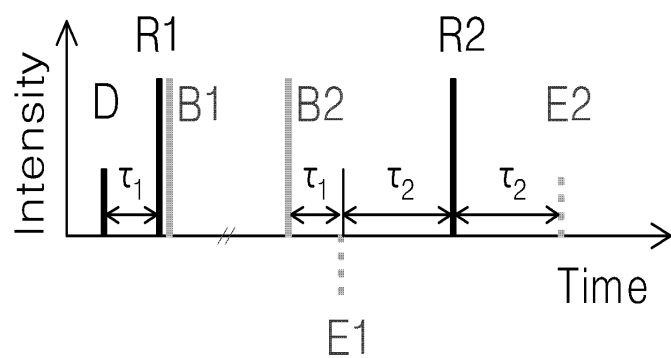
도면1a



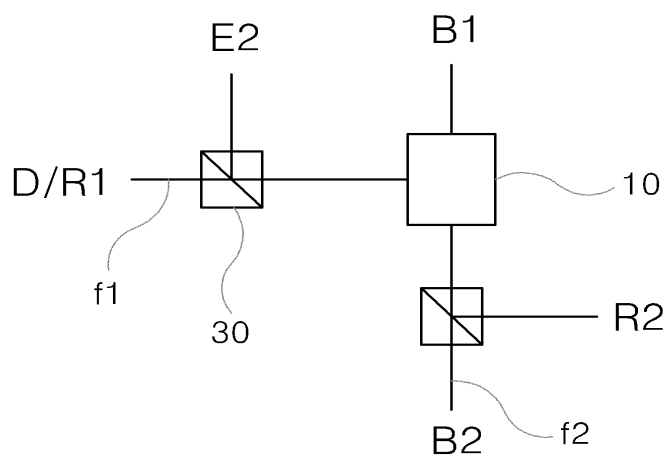
도면1b



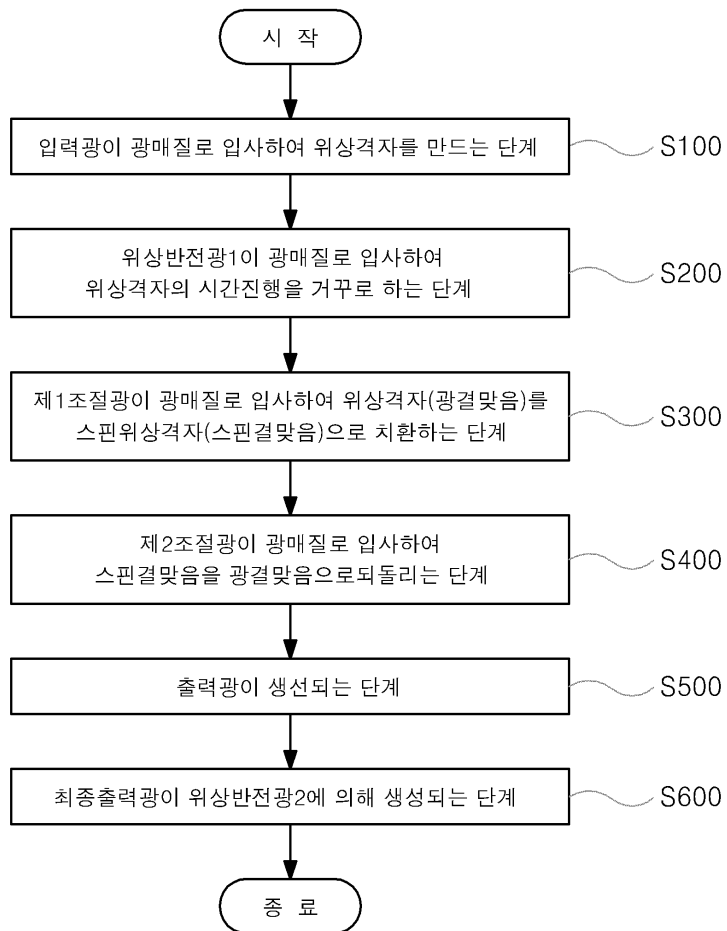
도면1c



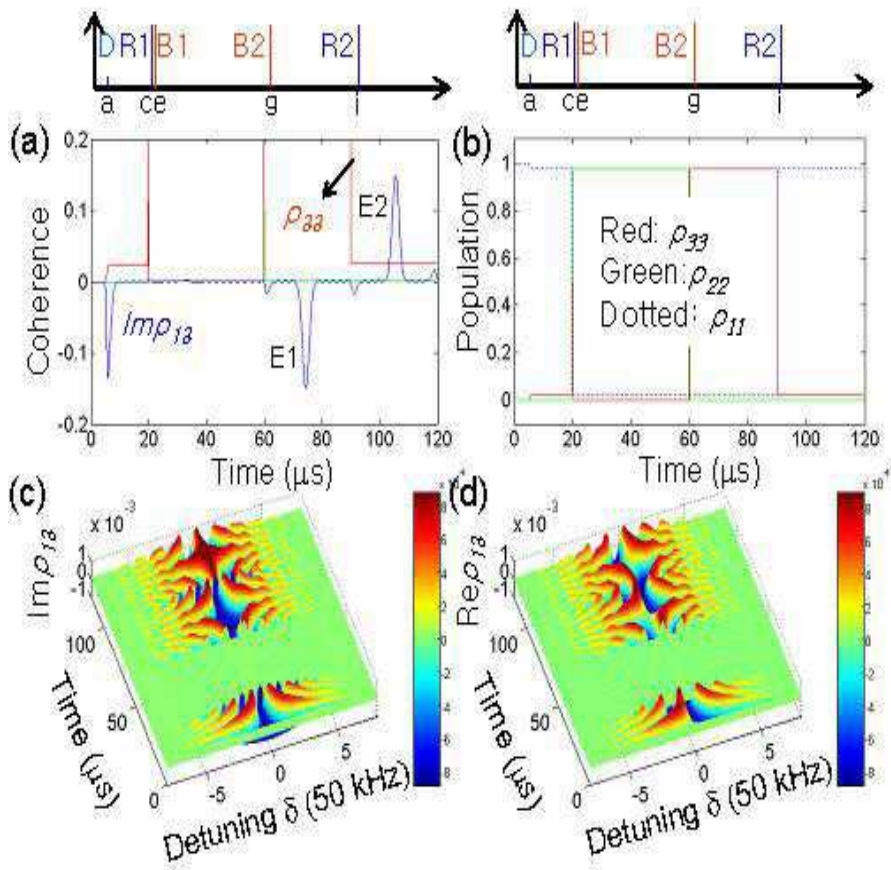
도면1d



도면2



도면3



도면4

