(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0016999
(43) 공개일자 2010년02월16일

(51) Int. Cl.
G11B 9/00 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2008-0076678
(22) 출원일자 2008년08월05일
심사청구일자 2008년08월05일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천 남구 용현동 253 인하대학교
(72) 발명자
함병승
인천 남구 용현4동 253번지 인하대학교 하이테크 318호
(74) 대리인
박장원

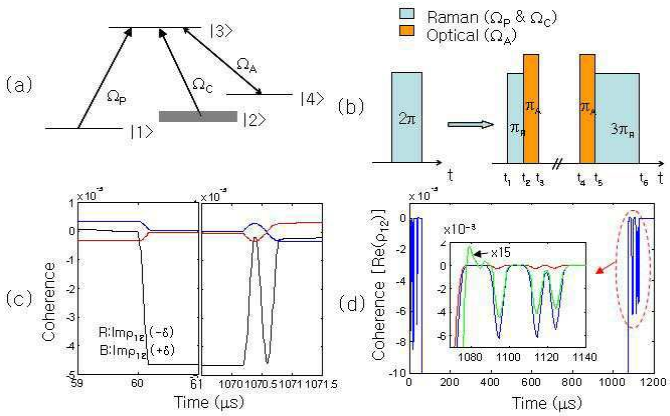
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 양자 광 메모리

(57) 요 약

종래에는 양자 메모리에서 데이터의 저장이 스핀 위상 감쇄(spin phase decay) 시간에 따라 수 밀리초로 제한되었으나, 본 발명에 의한 양자메모리는 가역적 스핀 비균질 확장성에 기초하여, 광데이터 저장을 스핀 밀도 감쇄(spin population decay) 시간에 따라 수 분에서 수시간까지 확장시킨다.

대 표 도 - 도5



특허청구의 범위

청구항 1

에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와;

상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와,;

상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하고,

상기 제1바닥 상태와 상기 제2바닥상태에서 상기 들뜬 상태로 2광자 전이되어 상기 스핀 결맞음이 유도된 후, 상기 근접 바닥 상태로 전이되어 상기 스핀 결맞음의 위상이 동결됨으로써 데이터를 저장하는 양자 메모리.

청구항 2

에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와;

상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와,;

상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하고,

상기 근접 바닥 상태에 있는 스핀 결맞음이 상기 들뜬 상태로 전이됨으로써 위상이 복원되고, 상기 제1바닥 상태 및 상기 제2 바닥 상태로 전이됨으로써, 읽기할 데이터가 빛으로 발광되는 양자 메모리.

청구항 3

에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와, 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와, 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하는 비선형 광 매질로 이루어진 양자 광메모리에서의 데이터 쓰기 방법으로서,

a) 상기 제1 바닥상태와 상기 들뜬 상태 간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제1 광 펄스(P)와, 상기 제2 바닥 상태와 상기 들뜬 상태 간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제2 광 펄스(C)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계와, 여기서 상기 뜰뜬 상태로의 전이에 의해 스핀 결맞음이 유도되고;

b) 상기 들뜬 상태에서 상기 근접 바닥 상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제3 광펄스(A)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계를 포함하고,

여기서 상기 근접 바닥 상태로의 전이에 의해 상기 스핀 결맞음의 위상이 동결됨으로써 데이터가 저장되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 쓰기 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제1 광 펄스와 상기 제2 광펄스는 공명 라만 광 펄스인 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 쓰기 방법.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제1 광 펄스와 상기 제2 광 펄스는 동시에 인가되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 쓰기 방법.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 제2 광 펄스(C)는 상기 스핀 비균질 특성을 갖는 상기 들뜬 상태에서 균일한 스핀 결맞음을 유도할 수 있는 세기를 갖는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 쓰기 방법.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 들뜬 상태의 에너지 준위는 상기 제1 및 제2바닥 상태의 에너지 준위보다 높은 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 쓰기 방법.

청구항 8

제3항에 있어서,

상기 제2광펄스(C)는 상기 제1광펄스(P)와 동기되고 공간적으로 중첩되도록 변조되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 쓰기 방법.

청구항 9

에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와, 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와, 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하는 비선형 광 매질로 이루어진 양자 광메모리에서의 데이터 읽기 방법으로서,

a) 상기 근접 바닥 상태에서 상기 뜰뜬 상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제3 광펄스(A)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계와, 여기서 상기 근접 바닥 상태에서 동결되어 있는 스핀 결맞음의 위상이 재생(rephasing)되고;

b) 상기 들뜬 상태에서 상기 제1 바닥상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제1 광 펄스(P)와, 상기 들뜬 상태에서 상기 제2 바닥 상태로의전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제2 광 펄스(C)를 상기 양자 메모리에 인기하는 단계와;

c) 상기 제2 광펄스(C)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계와, 여기서 상기 제2광 펄스의 인가에 응답하여 비축퇴 4파장 혼합 광 신호가 발광되고,

d) 상기 비축퇴 4파장 혼합 광 신호를 판독함으로써 데이터를 읽는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서 데이터 읽기 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 스핀 결맞음을 인출하기 위해 상기 제1 광 펄스(P)와 상기 제2 광펄스(C)의 세기(pulse area)가 조정되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서 데이터 읽기 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 제3 광펄스(A)는 펄스 영역 π를 만들기 위해 세기가 조정되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서 데이터 읽기 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 제1 광 펄스(P)와 상기 제2 광펄스(C)는 공명 라만 광 펄스인 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 읽기 방법.

청구항 13

제9항에 있어서,

상기 제1 광 펄스(P)와 상기 제2 광 펄스(C)는 동시에 인가되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 읽기 방법.

청구항 14

제9항에 있어서,

상기 들뜬 상태의 에너지 준위는 상기 제1 및 제2바닥 상태의 에너지 준위보다 높은 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 읽기 방법.

청구항 15

제9항에 있어서,

상기 제2광펄스(C)는 상기 제1광펄스(P)와 동기되고 공간적으로 중첩되도록 변조되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리에서의 데이터 읽기 방법.

청구항 16

에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와, 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와, 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하는 비선형 광 매질과;

상기 제1 바닥상태와 상기 들뜬 상태 간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제1 광 펄스(P)를 제어하는 수단과;

상기 제2 바닥 상태와 상기 들뜬 상태간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제2 광 펄스(C)를 제어하는 수단과;

상기 들뜬 상태에서 상기 근접 바닥 상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제3 광펄스(A)을 포함하고,

여기서 상기 제1 광 펄스(P)와 상기 제2광펄스(C)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 제1바닥 상태와 상기 제2바닥상태에서 상기 들뜬 상태로 2광자 전이되어 상기 스핀 결맞음이 유도된 후, 상기 제3 광펄스(A)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 들뜬 상태에서 상기 근접 바닥 상태로 전이되어 상기 스핀 결맞음의 위상이 동결됨으로써 데이터가 저장되고,

상기 제3광펄스(A)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 근접 바닥 상태에서 동결되어 있는 상기 스핀 결맞음이 상기 들뜬 상태로 전이되어 위상이 재생(rephasing)되고, 상기 제1 광 펄스(P) 및 상기 제2 광 펄스(C)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 들뜬 상태에서 상기 제1및 제2 바닥 상태로 전이되고, 상기 제3광펄스(C)가 인가됨으로써 발생되는 비축퇴 4파장 혼합 광 신호를 판독함으로써 데이터를 읽는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 스핀 결맞음의 위상 재생(rephasing)을 위해 상기 제3 광펄스(A)는 펄스 영역 π으로 세기가 조정되는 것을 특징으로 하는 양자 광메모리.

명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 양자 광 메모리에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 종래에 양자 광 데이터 저장은 수 밀리 초 이내에만 가능하였다. 이는 양자 광 데이터 저장이 스핀밀도 감쇄최

시간에 의해 제한되기 때문이다. 이것은 물리학에서 가역적 스핀 비균질에 작용하는 공명라만광펄스를 이용한 스핀 결맞음 유도 및 재생에 의해 이루어진다.

[0003] 양자 메모리 영역에서는 데이터의 인출 효율성 뿐만 아니라 저장 시간이 실생활 응용에 중요한 논점이다. 지난 몇 년동안 양자메모리의 여러 연구들이 보고되었다. 그 예로 비공진 라만산란, 광학적 가역적 포톤에코, 양자대응(quantum mapping)을 기초로 한 전자기유도투과(EI, electromagnetically induced transparency)가 있다. 이러한 양자메모리의 접근은 저장시간이 스핀위상 감쇄시간에 한계가 있다: 참고문헌 EIT for S.E. Harris, Phys. Today. Vol. 50 (No. 7), p. 36 (1997); Phys. Rev. Lett. Vol. 62, pp. 1033-1036 (1989)).

[0004] 한편, 원자매질이나 희토류 물질이 도핑된 고체매질에서 스핀위상 감쇄시간은 수밀리초 내외이다. 데이터의 재생효율성 관점에서, 포톤 에코(photon echo)는 이상적으로는 완벽한 효율이 가능하지만, 물질한계(흡수)로 인해 약 지금까지 최대 20%의 효율을 갖는다.

[0005] 만약에 데이터 펄스(pulse) 모양이 특별하게 조정되면 느린빛 양자데이터 저장방법에 기초한 EIT는 데이터 재생 효율성이 50%를 상회할 수 있다: I. Novikova, A.V. Gorshkov, D.F. Phillips, A.S. Sorensen, M.D. Lukin, and R.L. Walsworth, “Phys. Rev. Lett. Vol. 98, p. 243602 (2007).

[0006] 그러나 공명 라만 산란이나 EIT 느린빛에 기초한 양자메모리 기술은 한번에 한 비트만 저장할 수 있기에 양자메모리 저장효율에 한계가 있다.

[0007] 두 개의 근접한 바닥상태를 갖는 3준위 광학매질에서는 공명 라만 펄스가 두광자결맞음을 만들어 낼 수 있다는 것은 잘 알려져 있다. 결맞음 밀도포획이나 EIT의 두개 포톤에코는 스핀결맞음 혹은 어둠상태 (dark state)라고 한다. 특히, 느린빛의 영역에서는 어두운 상태가 매질을 통과하여 광축으로 전파되어 간다: 느린빛과 양자대응에 관한 참고문헌, Liu, C., Dutton, Z., Behroozi, C. H., and Hau, L. V. Observation of coherent optical information storage in an atomic medium using halted light pulses. Nature 409, 490-493 (2001).

[0008] 공명 라만장이 만들어낸 두개의 광축이 없어지면, 다른 장의 양자 정보는 완전히 스핀 결맞음 상태로 이동될 수 있다. 이것은 양자대응처리(quantum mapping process)라고 부른다.

[0009] 광학적으로 밀한 매질에서 약한 공명 광펄스는 매질에 완벽하게 흡수되고, 양자대응처리는 더 이상 전자기유도투과를 하지 않는다. 그 이유는 스핀 어둠상태(dark state)가 두양자전이나 스핀전이로부터 만들어지기 때문이며 이때, 굴절률은 변하게 되는데, 그 이유는 중심선에서 흡수가 소멸될 뿐만 아니라 바닥 상태에서 나타나는 두양자 결맞음 때문이다. 이러한 현상은 어두운 공명 (dark resonance) 또는 밀집된 광학적 매질에서의 전자기유도투과(EIT)라고 부른다: S.E. Harris, Phys. Today. Vol. 50 (No. 7), p. 36 (1997); Phys. Rev. Lett. Vol. 62, pp. 1033-1036 (1989)).

[0010] 어두운 공명이나 EIT에서는 굴절률이 변화는 밀도감쇄시간에 제한받지 않고 오직 위상감쇄시간에 제한을 받는다. 일반적으로 위상감쇄시간은 밀도감쇄시간보다 원자가스나 Pr^{3+}-doped Y_2SiO_5와 같은 이온 도핑된 결정에서는 약 두 배 더 길다. 에너지적으로 가깝게 위치한 바닥상태에서 들뜬 두양자결맞음은 광학적으로 비축퇴된 (non-degenerate) 4파혼합처리로 관측된다.

[0011] 비축퇴된 4파혼합처리 신호의 광 세기는 원래의 입력 레이져보다 강할 수 있다. EIT 에 기초한 이러한 신호증폭은 실험적으로 이미 증명되었다.: Hemmer et al., Optics Letters, Vol. 20, pp. 982-4 (1995)).

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0012] 본 발명의 목적은 전술한 종래 기술의 문제점을 해결하는 것을 목적으로 한다. 구체적으로, 본 발명의 목적은 양자 광 메모리 저장 시간을 연장하는 것을 목적으로 한다.

과제 해결수단

[0013] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 양자 광 메모리 저장 시간을 스핀 밀도 감쇄(spin population decay) 시간에 의해 연장한다.

[0014] 구체적으로, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 에너지적으로 근접하고 (혹은 축퇴되고), 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와; 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이

가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와; 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하고, 상기 제1바닥 상태와 상기 제2바닥상태에서 상기 들뜬 상태로 2광자 전이되어 상기 스핀 결맞음이 유도된 후, 상기 근접 바닥 상태로 전이되어 상기 스핀 결맞음의 위상이 동결됨으로써 데이터를 저장하는 양자 메모리를 제공한다.

[0015] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와; 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와; 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하고, 상기 근접 바닥 상태에 있는 스핀 결맞음이 상기 들뜬 상태로 전이됨으로써 위상이 복원되고, 상기 제1바닥 상태 및 상기 제2 바닥 상태로 전이됨으로써, 읽기할 데이터가 빛으로 발광되는 양자 메모리를 제공한다.

[0016] 한편, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와, 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와, 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하는 비선형 광 매질로 이루어진 양자 메모리에서의 데이터 쓰기 방법으로서, a) 상기 제1 바닥상태와 상기 들뜬 상태 간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제1 광 펄스(P)와, 상기 제2 바닥 상태와 상기 들뜬 상태 간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제2 광 펄스(C)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계와, 여기서 상기 뜰뜬 상태로의 전이에 의해 스핀 결맞음이 유도되고; b) 상기 들뜬 상태에서 상기 근접 바닥 상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제3 광펄스(A)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계를 포함하고, 여기서 상기 근접 바닥 상태로의 전이에 의해 상기 스핀 결맞음의 위상이 동결됨으로써 데이터가 저장되는 것을 특징으로 하는 양자 메모리에서의 데이터 쓰기 방법을 제공한다.

[0017] 또한 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와, 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와, 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하는 비선형 광 매질로 이루어진 양자 메모리에서의 데이터 읽기 방법으로서, a) 상기 근접 바닥 상태에서 상기 뜰뜬 상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제3 광펄스(A)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계와, 여기서 상기 근접 바닥 상태에서 동결되어 있는 스핀 결맞음의 위상이 재생(rephasing)되고; b) 상기 들뜬 상태에서 상기 제1 바닥상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제1 광 펄스(P)와, 상기 들뜬 상태에서 상기 제2 바닥 상태로의전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제2 광 펄스(C)를 상기 양자 메모리에 인기하는 단계와; c) 상기 제2 광펄스(C)를 상기 양자 메모리에 인가하는 단계와, 여기서 상기 제2광 펄스의 인가에 응답하여 비축퇴 4파장 혼합 광 신호가 발광되고, d) 상기 비축퇴 4파장 혼합 광 신호를 판독함으로써 데이터를 읽는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 양자 메모리에서 데이터 읽기 방법을 제공한다.

[0018] 한편, 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명은 에너지적으로 근접하고 혹은 축퇴되고, 쌍극자 전이가 방지되는 제1 바닥상태와 제 2 바닥 상태와, 상기 제1 바닥상태와 상기 제 2 바닥 상태 간의 2광자 전이가 허용되고, 스핀 결맞음이 허용되되 스핀 비균질 특성을 갖는 들뜬 상태와, 상기 제1 및 제 2 바닥 상태와의 쌍극자 전이는 방지되고, 상기 들뜬 상태와의 전이 만이 허용되는 근접 바닥 상태를 포함하는 비선형 광 매질과; 상기 제1 바닥상태와 상기 들뜬 상태 간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제1 광 펄스(P)를 제어하는 수단과; 상기 제2 바닥 상태와 상기 들뜬 상태간의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제2 광 펄스(C)를 제어하는 수단과; 상기 들뜬 상태에서 상기 근접 바닥 상태로의 전이에 해당하는 소정 진동수를 갖는 제3 광펄스(A)을 포함하고, 여기서 상기 제1 광 펄스(P)와 상기 제2광펄스(C)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 제1바닥 상태와 상기 제2바닥상태에서 상기 들뜬 상태로 2광자 전이되어 상기 스핀 결맞음이 유도된 후, 상기 제3 광펄스(A)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 들뜬 상태에서 상기 근접 바닥 상태로 전이되어 상기 스핀 결맞음의 위상이 동결됨으로써 데이터가 저장되고, 상기 제3광펄스(A)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 근접 바닥 상태에서 동결되어 있는 상기 스핀 결맞음이 상기 들뜬 상태로 전이되어 위상이 재생(rephasing)되고, 상기 제1 광 펄스(P) 및 상기 제2 광 펄스(C)가 상기 비선형 광 매질에 인가됨으로써 상기 들뜬 상태에서 상기 제1및 제2 바닥 상태로 전이되고, 상기 제3광펄스(C)가 인가됨으로써 발생되는 비축퇴 4파장 혼합 광 신호를 판독함으로써 데이터를 읽는 것을 특징으로 하는 양자 메모리를 제공한다.

효 과

[0019] 종래에는 양자 메모리에서 데이터의 저장이 스핀 위상 감쇄(spin phase decay) 시간에 따라 수 밀리초로 제한되었으나, 본 발명에 의한 양자메모리는 가역적 스핀 비균질 확장성에 기초하여, 광데이터 저장을 스핀 밀도 감쇄(spin population decay) 시간에 따라 수 분에서 수시간까지 확장시킨다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0020] 본 명세서에서 사용되는 기술적 용어는 단지 특정한 실시 예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아님을 유의해야 한다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 기술적 용어는 본 명세서에서 특별히 다른 의미로 정의되지 않는 한, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 의미로 해석되어야 하며, 과도하게 포괄적인 의미로 해석되거나, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 기술적인 용어가 본 발명의 사상을 정확하게 표현하지 못하는 잘못된 기술적 용어일 때에는, 당업자가 올바르게 이해할 수 있는 기술적 용어로 대체되어 이해되어야 할 것이다. 또한, 본 발명에서 사용되는 일반적인 용어는 사전에 정의되어 있는 바에 따라, 또는 전후 문맥상에 따라 해석되어야 하며, 과도하게 축소된 의미로 해석되지 않아야 한다.

[0021] 또한, 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 출원에서, "구성된다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다.

[0022] 또한, 본 명세서에서 사용되는 제1, 제2 등과 같이 서수를 포함하는 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 본 발명의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성 요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성 요소도 제1 구성 요소로 명명될 수 있다.

[0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일뿐, 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니됨을 유의해야 한다. 본 발명의 사상은 첨부된 도면외에 모든 변경, 균등물 내지 대체물에 까지도 확장되는 것으로 해석되어야 한다.

[0024] 도면을 참조하여, 본 발명을 설명하기 전에, 이해를 도모하기 위해, 개념을 잠시 설명하면 아래와 같다.

[0025] 본 특허는 양자광메모리 저장 시간을 연장시길뿐만 아니라, 광데이터의 재생 효율성을 거의 100%에 이르게 한다. 이것은 포톤 에코 메모리와 비슷한 가역적 비균질 확장성으로부터 비롯된 것이다: 포톤에코 참고문헌, Kim, M. K., and Kachru, R. Multiple-bit long-term data storage by backward-stimulated echo in Eu^{3+}:$YAlO_3$. Opt. Lett. 14, 423-425 (1989).

[0026] 재생(rephasing) 원리는 가역적 비균질 확장(reversible inhomogeneous broadening)이 위상 간섭(phase coherency)을 위해 이용되는 에코-타입 양자 메모리에 주요 물리적 현상을 제공한다. 레이저 필드가 상호작용하는 많은 원자들이 존재하기 때문에, 그러한 원자들은 인가된 빛 (광파, 광펄스) (optical field)의 위상 정보에 대한 저장 매체로서 동작한다. 데이터 펄수의 수와는 무관하게 2-광자 결맞음 (어두운 상태)의 위상 및 크기가 스핀 앙상블(spin esemble)에 저장된다. 여기서 각 원자는 자신의 스핀 확장성을 가진다. 따라서 인가된 빛 (광파, 광펄스)과 동일한 균질 감쇄율을 갖는 원자들에 대해서도, 스핀 감쇄율은 다를 수 있다. 이는 예를 들어 2개의 연속한 공진 라만 펄스들이 상기 스핀 확장성에서 다른 스핀 결맞음을 여기할 수 있음을 의미한다. 만약 저장된 스핀 결맞음이 재생될 수 있다면, 이것은 양자 메모리의 조건을 충족하는 것이다. 여기된 스핀 결맞을을 재생하기 이해서는 재생(rephasing) 펄스가 필요하다. 이것은 서로 다른 위상속도를 갖는 각각의 스핀(원자)들에 대해 일정시간이 지나면 모든 스핀위상의 합은 0이 되고, 그 시간축을 반대로 할 수만 있다면 초기의 스핀 결맞음은 회복될 수 있다. 포톤에코 방법에서는 리페이징 광펄스의 크기는 π펄스, 즉 원자들의 위상속도를 반대로 하는 크기이다. 전자-광학적 리페이징 방법에서는 전압을 스핀 결맞음의 π위상만큼 돌리기 위해 사용된다. 본 발명에서는 스핀 결맞음의 가역적 상황 즉 리페이징을 하기위해 공명하는 2π 라만 광펄스를 사용

하게 된다.

[0027] π광펄스를 π/2 - π/2두개의 광펄스로 나누어 저장시간을 광밀도감쇄시간으로 늘리는 포톤에코 방법에서와 같이(참고문헌 Mossberg, T. W. Time-domain frequency-selective optical data storage. Opt. Lett. 7, 77-79 (1982)), 본 특허에서는 2π 리페이징 라만펄스를 π-π 두 개로 라만펄스로 나누어 사용하게 된다. 그러나 두 준위 시스템에 기초한 포톤 에코 방법과 달리 본 발명의 방법은 들뜬 준위 |3> 으로부터 나타나는 광밀도감쇄로 말리암아 초기 생성된 스핀결맞음은 시간에 따라 필연적으로 감소하게 된다. 도1의 시뮬레이션에서 보이는 바와 같이 이러한 스핀결맞음 감소는 시간에 따라 지수적으로 증가한다. 이러한 누설 문제를 해결하는 것이 본 발명이 중요한 목적이다.

[0028] 간략하게 설명하자면, 가역적 스핀 비균질 확장성에 기초한 양자광메모리의 한계인 스핀밀도 감쇄 시간은 광학적으로 두꺼운 비선형 매질과 3개의 결맞은 빛의 소스인 P, C, A에 의해 제공된다: 도 참고, 도. 1. 양자광 데이터 저장을 위한 비선형 광매질은 적어도 |1>, |2>, |3> 이렇게 3개 에너지 준위로 이루어져 있다. 에너지 준위 |1>, |2>, |3> 은 도1에 삽입된 도와 같다. 바닥상태 |1>, |2> 는 에너지 차가 근소하게 위치해 있어야 하고, |3>은 광학적으로 들뜬 상태이다. 에너지 준위 |4>는 바닥준위 |1>과 |2>로부터 고립된 상태이어야 한다. 즉, 이상적으로는 쌍극자 전이가 허용이 안되어야 한다. C 와 A 의 레이져 빛의 진동수는 같거나 임의로 다를 수 있다: 도. 1. 광펄스A 는 에너지 준위 |3>으로부터 일어나는 밀도감쇄를 중지시키기 위해 사용되었다. 즉 광펄스 A에 의해 들뜬 준위 |3>에 있는 원자(스핀)들은 고립준위 |4>로 모두 이동하게 되어 광밀도감쇄는 일어나지 않게 된다.

[0029] 도 1 은 본 발명에 따른 가역적 양자 광 메모리의 개념과 에너지 준위를 나타낸 예시도이다.

[0030] 도 1(a)는 본 발명의 가역적 양자 광메모리의 모식도이다. 도 1(b) 는 도1(1)의 비선형 광매질 104의 에너지 준위를 나타낸다.

[0031] 전자기장P, C, A 는 3개의 에너지 준위 |1>, |2>, |4> 로부터 보통 들뜬상태인 |3>으로 전이하는 광학펄스를 나타낸다. 101, 103, 105는 레이져 빔과 동시 물리학적 경로인 광도파관, 자유 공간, 표면 플라즈몬 광도파관을 나타낸다.

[0032] P (101), C (102), A (103), D (105)는 결맞은 레이져 빛들을 나타내는데 이들 각각은 비선형 광매질(104)와 상호 작용하는 라비 진동수 Ω_P, Ω_C, Ω_A,Ω_D를 갖는다. 각 레이져 빛과 비선형 광매질은 광도파관, 자유 공간, 혹은 플라즈몬 광 도파관과 연관되어 있다.

[0033] 도 2는 라만광펄스에 의해 생성된 스핀 결맞음과 스핀 결맞음 재생(rephasing)의 수치계산이다.

[0034] 도 2(a)는 공명 라만 펄스와 상호작용하고 있는 광매질(104)의 에너지 준위를 나타낸다. 광매질(104)는 광비균질성(optical inhomogeneous broadening)과 스핀 비균질성(spin inhomogeneous broadening)을 동시에 갖는다.

[0035] 광비균질성을 이용해서는 광학적 스펙트럼 선택을 걸어준 레이져 라비 진동수나 걸어준 레이져의 선폭, 또는 매질의 균질한 감쇠율 등을 통해 할 수 있다. 광스펙트럼선택이 되는 것을 가정하면 바닥에너지 준위로부터 균질한 상태로 들뜨게된다.

[0036] 스핀비균질확대를 위해서는 |2>상태가 비균질하게 확대 되어 있어야 한다. 레이져 빛Ω_P 와 Ω_C 는 공명라만펄스를 이룬다. 공명라만펄스가 광전이로 공명한다하더라도 그것은 스핀 앙상블에 있어서는 두양자 주파수 차이 Δi를 갖는다. 문자 i 는 스핀앙상블에서 각각의 스핀을 나타낸다(도. 4(b)). 스핀비균질폭은 가우시안으로 주어지며 100 kHz 이고, 2kHz 간격의 총 121개의 스핀 그룹을 가정하였다. 수치 변수는 실험값으로부터 선택했는데, 희토류물질인 Pr^{3+} 도핑된Y_2SiO_5 로부터 얻었다.

[0037] 도 2(b)는 Ω_P, Ω_C 로 이루어진 공명라만 광펄스이다. D는 각각 양자광데이터를 나타내고 R은 위상재생 펄스를 나타낸다. 즉, D는 데이터 입력으로 볼 수 있으며, R은 데이터 읽기로 볼 수 있다. 위상재생 펄스 R의 크기(pulse area)Φ는 다음과 같이 주어진다.

수학식 1

[0038] $$\Phi = \int \Omega dt$$

[0039] 여기서Ω 는 공명라만 광펄스의 (generalized) 라비 진동수이다.

[0040] 도2(c) 는 각각 공명 라만 펄스 D, R에 의한 생성된 스핀결맞음을 나타낸다. D가 가해질 때 스핀 결맞음인 Re(ρ_{12})가 생성되게 되고 각각의 스핀은 detuning Δ (도 2(a)의 붉은 원) 에 따라 자유롭게 그러나 각각 다른 속도로 감쇠한다. 위상전이 속도는 두양자주파수 차 Δi 의해 결정된다 (Δi 의 i는 각각의 원자 혹은 스핀을 의미함). 각각의 스핀의 위상감쇄속도가 모두 다르더라도 초기의 결맞은상태는 재생 펄스 R에 의해 회복된다. 이것은 광위상이 2개 준위 시스템에서 인출되는 포톤에코 기술과 거의 흡사하다. (참고문헌 Mossberg, T. W. Time-domain frequency-selective optical data storage. Opt. Lett. 7, 77-79 (1982)). 이러한 위상재생 처리는 시간 가역적이고, 그래서 D와 R 사이의 시간이 광메모리 재생시간을 결정한다:

수학식 2

[0041] $T_E-2T_R-T_D$

[0042] 도 2(d)는 푸른색선은 도2(c)의 스핀결맞음 Re(ρ_{12})의 합이고, 붉은색 선은 광흡수Im(ρ_{13})를 나타낸다. 광흡수(Im(ρ_{13}))는 스핀 결맞음 들뜬 ((Re(ρ_{12}))와 연동되어 있다.

[0043] 도 2(e)는 들뜬 스핀 결맞음의 허수부분이다. 도 2(f)는 2(c)와 2(e)에서 각각 두개의 대칭되는 스핀그룹을 나타낸다. 파란색 선은 실수부분이고, 이 값은 대칭스핀에 대해 동일하다. 반면 녹색과 빨간색 선은 허수부분인데, 주파수차의 기호(+, -)에 따라서 실수부분(파란색 선)에 대해 위상은 90도 앞서거나 느려진다. 빨간 점들이 있는 영역은 실수 부분이 0에서부터 최고치까지 변한다. 그래서 도2(d)에서 D에 의한 전체적인 결맞음의 크기는 항상 인출되는 결맞음보다 작다. 그러나 이것은 에너지 보존법칙을 위배하는 것이 아니라 허수부분(빨간색 선)이 스핀 인출보다 작은 것이다.

[0044] 도 2(g)는 도2(c)의 2차원적 모형을 보여준다. 도 2(d)에서 보여주는 것처럼 위상재생 라만 50 마이크로초에서 위치하고 따라서100 마이크로초에서 재생신호가 나타난다. 도2(h)는 2(f)처럼 대칭되는 스핀쌍의 다른 예이다.

[0045] 도 3은 도 2의 스핀 결맞음 전개를 위한 블록(Bloch) 벡터모델의 uv평면이다. 여기서 u는 스핀결맞음의 실수값이고 v는 허수값이다. 도3(a)는 공명 라만광펄스의 끝인10μs 일때 스핀결맞음을 나타내고, 도 3(b)는 그때의 uv 벡터이다.

[0046] 스핀 결맞음의 들뜸은 Re(ρ_{12})가 최고치인 10 μs 일때 나타난다(음수). 공명라만광펄스가 끝나면 들뜬 스핀 결맞음은 스핀 비균질 선폭에 따라서 재빠르게 감쇠한다. 이것은 빠른 감쇠현상으로 스핀자유유도감쇠(spin free induction decay)라고 부르며, 감쇠시간 τ는 스핀 비균질 선폭의 역수이다.

[0047] $\tau=1/\pi 10^{5}$~3μs

[0048] 도 3(d)에서 보여지는 것처럼 45 μs일때 스핀 결맞음이 완벽하게 감쇠한다. 여기서 리페이징 펄스 R이 스핀전개에서 시간 가격의 중요한 역할을 한다. 그래서 90 μs (t=2T-T_D=100-10=90)일때 완전한 스핀 결맞음 인출은 도 3(f)에서처럼 나타나고, 도 3(b)와 uv벡터는 일치한다. 이것은 스핀 결맞음과 인출에 의해 들뜬 공명 라만 광펄스가 양자 광 데이터 저장에 물리적으로 사용된 것이다.

[0049] 도 1~3에서 저장 시간은 원자 증기(Lukin, PRL), 극저온 원자 (Hau, Nature)의 경우와 같이 균질한 스핀 시스템일 때, 스핀 위상 감쇄시간으로 주어진다. 도 1~3의 중요성은 균질하게 확대된 스핀 시스템과 비교하여 복수의 광 데이터를 저장할 수 있는 양자 광 데이터(Ham, PRB, OL)를 위한 비균질 확대 스핀 시스템이라는 것이다. 이에 대해서는 도 4를 참조하여 후술하기로 한다.

[0050] 도 4는 비균질하게 확대된 스핀 시스템에서 3개의 연속된 광펄스 저장을 보여준다.

[0051] 문자 A, B, C는 Ω_P 와 Ω_C로 이루어진 공명 라만 펄스 양자 광 데이터를 나타낸다. 2π 리페이징 펄스는 공명 라만펄스로 이루어져 있다. 그 라만 펄스의 크기(pulse area)는 2π이고 스핀위상리페이징 처리에서 중요한 역할을 한다.

[0052] 스핀 비균질 확대는 시뮬레이션 시간을 줄이기 위해 100 kHz에서 200 kHz까지 넓어진다. 이것은 도3에서 보여지듯이 짧아진 감쇄시간때문이다.

[0053] 공명 라만 광펄스인 A, B, C는 동등한 세기의 라비 진동수(Ω_P 와 Ω_C)를 갖는다. 도 4(d)에서 보듯이 각 스핀 결맞음은 각각의 공명 라만 펄스에 의해서 들뜨게 되고, 3개의 스핀 결맞음의 재생은 공명 라만 리페이징 펄스

에 의해 나타난다. 도 3에서 보여 지듯이 리페이징 과정은 시간 가역적이고, 도 4(d) 는 스핀 결마음 리페이징 펄스에 의한 시간 가역의 모습을 보여준다: 연속펄스 양자광메모리.

[0054] 도 4(e)를 참고하여 알 수 있는 바와 같이, 인출효율성은 리프레이징 펄스의 지연시간에 따라지수함수적으로 떨어진다. 위상감쇄시간은 스핀 위상 감쇄시간의 지수함수곡선에 잘 맞아들어간다 (T_2^S=180 μs).

[0055] 리페이징 처리를 위해서 도 4(f)는 스핀 결맞음 위상 전개에 의존하는 공진라만 광펄스의 세기 ϕ를 나타낸다. 도4(f)는 펄스세기 6π의 리페이징 펄스가 걸려 있는 경우인데, 여기서는 200 ns 의 시간이 π 펄스를 나타낸다. 처음 π펄스의 영역을 위해서 곡선 (i) 와(ii)는 ±10 kHz 로 대칭되는 스핀(허수부분)쌍이다. 곡선 (iii)는 스핀결맞음의 실수부분이다. 도1(h)와 같이 리페이징 펄스는 스핀 결맞음의 허수 부분에 위상 가역성을 유도한다. 도4(f)는 각 2π펄스 영역에서 위상 뒤바뀜을 나타낸다. 그래서 리페이징 펄스 영역 ϕ 는 시간 가역적이어야 하기 때문에:

수학식 3

[0056] $\phi_n = 2\pi + 4n\pi$, n은 정수

[0057] 본 발명에서는 기존의 짧은 스핀위상 지연 시간에서 스핀 밀도 감쇄시간에 새로운 광메모리 저장시간의 연장 방법을 제안한다. 특히 희토류 물질이 도핑된 고체들은 수분에서부터(Pr:YSO) 수시간에 이르는 (Eu:YSO) 굉장히 긴 스핀 밀도 감쇄시간을 갖는다.

[0058] 도 5는 본 발명인 양자 광 데이터 저장에 제한된 스핀 밀도 감쇄시간의 프로토콜을 기술한다.

[0059] 도 5(a)는 본 발명 방법의 에너지 준위를 보여준다. 도4에 있는 에너지 준위와 비교하여 보면, 근접 바닥 상태 |4>가 추가되었다. 상기 근접 바닥 상태|4> 는 상기 바닥상태 |1> 와 |2>로부터 고립되었다. 만일 고립된 상태가 아니라면 어떤 들뜬 원자들의 스핀결맞음도 |4>에서 |1> 혹은 |2>상태로 감쇄하게 되며, 이는 곧 스핀결맞음의 누설을 야기한다. 상기 바닥상태 |1> 와 |2>는 서로 에너지적으로 근접한 상태 혹은 축퇴될 수 있다. 여기서, 축퇴(degenerage)는 서로 에너지는 동일하지만 양자역학적으로 서로 원자준위가 다른 것을 의미한다.

[0060] 또한 |3>상태로부터 나타나는 광밀도 감쇄로 인한 스핀결맞음 누설을 방치하려면, 고립된 상태가 들뜬 원자들을 잠시동안 저장해 줘야 한다. 이 저장 시간이 실제로는 수 시간의 스핀 밀도 감쇠시간만큼 길다.

[0061] 이러한 들뜬 원자 상태를 |3>에서 |4>로 이동시키기 위해서는 여분의 광펄스가 필요하다.

[0062] 도 5(b)는 각각의 광펄스의 순서를 보여준다. 이것은 자극받은(stimulated) 포톤 에코 방법과 비슷하며, 도 1~4에서의 2π 리프레이징 펄스가 두 부분으로 나누어 진다. 첫번째 부분은 스핀 위상 잠금이고, 나머지는 도 2와 4에서 한 것처럼 위상 가역성과 광학적 감쇄 잠금이다. 즉, 공진 라만 펄스 P와 C를 π_R 만큼 입사하는 과정은 쓰기(Write) 과정에 해당하고, 펄스 A를 π_A 만큼 입사하는 과정은 스핀 위상 잠금에 해당한다. 그리고 나서 펄스 A를 π_A 만큼 입사하는 과정은 위상 가역성과 광학적 감쇄 잠금을 위한 것이다. 공진 라만 펄스P와 C를 $3\pi_R$ 만큼 입사하는 과정은 읽기에 해당한다.

[0063] 도 5(c)는 5(b)를 기초로 한 위상 가역성을 기술한다. 도 5(c)에서 t_1 (60.0 μs) < t <t_3(60.2 μs)일때 보여지는 것처럼, 도 5(b)의 첫 번째 부분인 π_R-π_A 펄스 진행은 π/2위상 차이를 위해 사용되었다. 두 번째 부분인 π_A-$3\pi_R$ 펄스 진행은 t_4(1070 μs) < t < t_6(1070.6 μs)일때이고, Im(ρ_{12})의 위상은 반대로 뒤집힌다.

[0064] 자세하게 말해서 광 펄스 ΩA 의 π_A-π_A는 |3> 준위에서 광밀도는 변하게 하지 않으나, 도 5(c)에서 보여지듯이 스핀 결맞음 위상은 거꾸로 만든다: 위상 차이가 t=t_3 와 t=t_4에서 나타난다. 왜냐하면 π 만큼 위상 이동했기 때문에 라만 펄스 영역 ϕ_{2R} 은 도 2(f)에서 보여지듯 추가로 2π만큼의 세기가 필요하다:

수학식 4

[0065] $\phi_{2R} = 3\pi + 4n\pi$, *n*은 정수

[0066] 도 5(d)는 굉장히 긴 양자 광 데이터 저장을 나타내며 그 저장 시간은 기존의 스핀 위상 감쇄시간보다 훨씬 더 길다. 모든 시뮬레이션 변수들은 실험값들 을 이용했다. 다만, 도 5(b)에서 π_A-π_A광펄스 동안에는 스핀 위상

감쇄가 없다고 가정하였다. 이는 포톤에서에서와 같이 스핀위상이 잠기기 때문이다: 첫번째 라만 리페이징 펄스 π_R 이 오면 uv 평면에서 90도 회전을 하게 된다(uv 평면은 Re(ρ_{12}) 와 Im(ρ_{13})로 만들어진 복소수 평면임). 이 경우에 위상 이탈 현상은 바닥 상태에 스핀이 얼어 붙은 스핀 결맞음의 스핀 위상 감쇄 비율에 의해 생긴다. 그러나 이것은 |3> 준위에서 들뜬 원자들(스핀들) 에게는 일어 나지 않는다. 그러므로 들뜬 원자들은 잠겨져야할 필요가 있다. 이것은 첫번째 π_A 펄스에 의해 이루어진다. 이러한 광학적 잠금에서 중요한 것은 에너지 준위 |4>가 반드시 바닥 상태로부터 고립되어야 한다는 점이다. 그래서 3개의 연속된 양자 광 펄스는 스핀 감쇄시간보다 더 오랫동안 저장될 수 있게된다. 불균형한 데이터 펄스($\Omega_P=\Omega_C/100$, 녹색 곡선)라도 인출효율성은 균형된 경우(파란색 곡선)와 거의 같이 완벽하다. 이것은 한개의 광자나 소수의 광자들로 이루어지는 광 펄스로 사용되는 양자 정보에서 굉장히 중요한 단서를 제공한다.

[0067] 지금까지는 어떻게 스핀 결맞음을 들뜨게 하는지, 어떻게 저장하는지, 어떻게 그것을 인출하는지에 대해 논의했다. 인출 신호는 스핀 결맞음에는 생기나 광학적으로는 아직이다. 그러므로 스핀 결맞음을 광학적 결맞음으로 변환하는 양자 광 데이터 저장장치가 필요하다.

[0068] 도 6은 EIT의 비축퇴된 4파장혼합 처리를 사용한 결맞음의 변환 과정을 보여준다.

[0069] 도 6(a)는 도 1~3에서 보여지는 것처럼 2π 리페이징 펄스에 의해 들뜬 스핀 결맞음(푸른색선)과 광흡수결맞음(붉은색선) Im(ρ_{13})를 보여준다: 도 6(a)는 모든 스핀/원자들의 합이다. 도6(b) 와 6(c)는 각각의 스핀들에서 나타나는 스핀결맞음이다.

[0070] 도 6(d)는 스핀결맞음을 광학적으로 검출하기 위해 걸어준 광펄스 C에 의해 타나나는 스핀결맞음의 변화이다. 이러한 결맞음 변환 과정은 B.S. Ham, Opt. Exp. (2008)에 잘 설명되어 있다.

[0071] 도 6(d)에서 광펄스 C은 스핀 결맞음을 광 결맞음으로 변환시켜준다(도6(e)). 여기에서 주목해야 할 것은 도 6(d)에서 고갈된 스핀 결맞음의 양이 도 6(e)에서 변환된 광 결맞음이라는 것이다. 도 6(f)는 흡수(파란색)와 방출(빨간색) 모두 2차원에서 광 결맞음을 보여준다.

[0072] 도 7 은 본 발명의 구성장치를 나타낸다. 스핀 밀도 감쇄시간이 양자광 데이터 저장시간을 결정짓는다는 것이 본 발명의 특징이다.

[0073] 도 7에서 3개의 입력 레이저인 P(701), C(702), A(703) 은 도 1에서 레이져 P(101), C(102), A(103)을 각각 나타낸다. 광 매질인(705)는 도 1에서 광매질(104)와 같다. 출력(707)은 도 1에서 출력(105)을 나타낸다. 입력 레이져빔들은 렌즈(704)를 통해 초점이 맞춰지고 조정된다. Ω_A 을 갖는 A(703)을 켜면 오직 Ω_D을 갖는 출력빔 D(707) 만 존재하게 된다. 여기서 주목해야 할 점은 C(702)의 조절펄스 세기에 의해 조정되는 입력 펄스(P)(701)의 느린 성질이다. 결맞음 변환 처리를 하기 위해서는 Ω_A 을 갖는 검출펄스 A(703) 이 반드시 인출 스핀 결맞음으로 시간적으로 동시에 작동시켜야 한다.

도면의 간단한 설명

[0074] 아래에 도들은 본 발명을 좀 더 구체화해서 나타낸 것이다. 도들은 발명의 구체화를 나타낸 것이지 발명의 한계를 보여주는 것은 아니다.

[0075] 도 1은 본 발명에 따른 가역적 양자 광 메모리의 개념과 에너지 준위를 나타낸 예시도이다.

[0076] 도 2는 스핀 결맞음과 스핀 결맞음 리페이징 처리에 의해 들뜬 공명 라만펄스 산란의 수치계산이다.

[0077] 도 3은 스핀 결맞음과 벡터 계통도를 이용한 스핀 결맞음 리페이징 처리에 의해 들뜬 공명 라만펄스 산란의 수치계산이다.

[0078] 도 4는 가역적 스핀 비균질 확장성에 기초한 가역적 양자광 메모리의 수치 계산을 나타낸다.

[0079] 도 5는 본 발명인 양자 광 데이터 저장에 제한된 스핀 밀도 감쇄시간의 프로토콜을 기술한다.

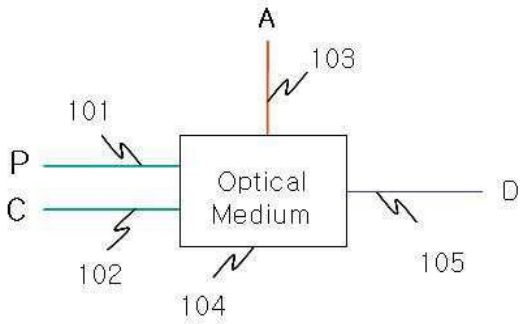
[0080] 도 6은 완전한 양자광 데이터 재생을 위한 스핀 결맞음과 광학적 결맞음의 변환 처리를 나타낸다.

[0081] 도 7은 본 발명인 가역적 스핀 비균질 확장성에 기초한 가역적 양자 광메모리 저장의 장치를 기술한다.

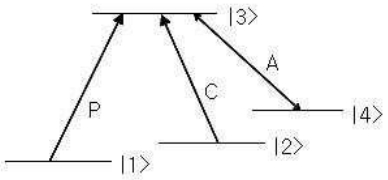
도면

도면1

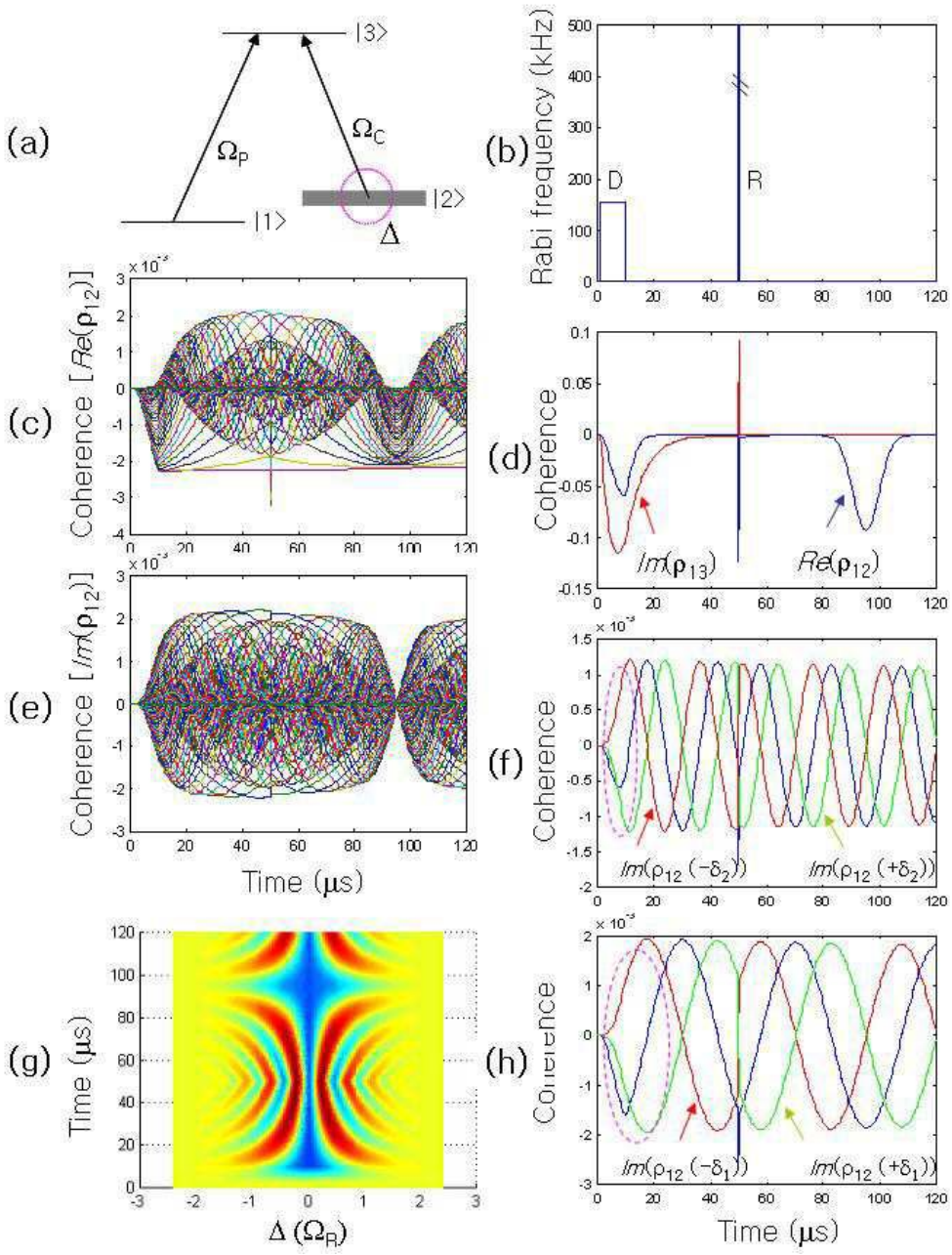
(a)



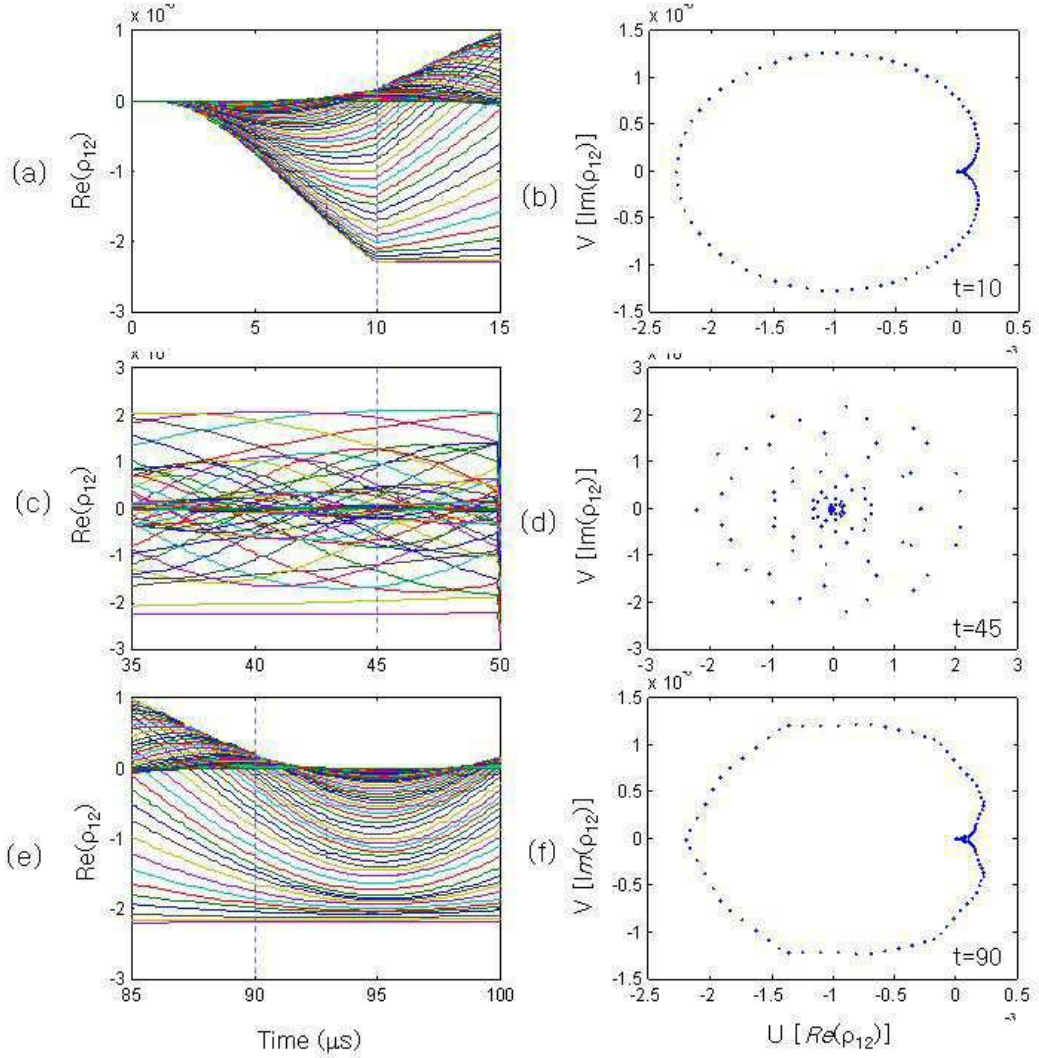
(b)



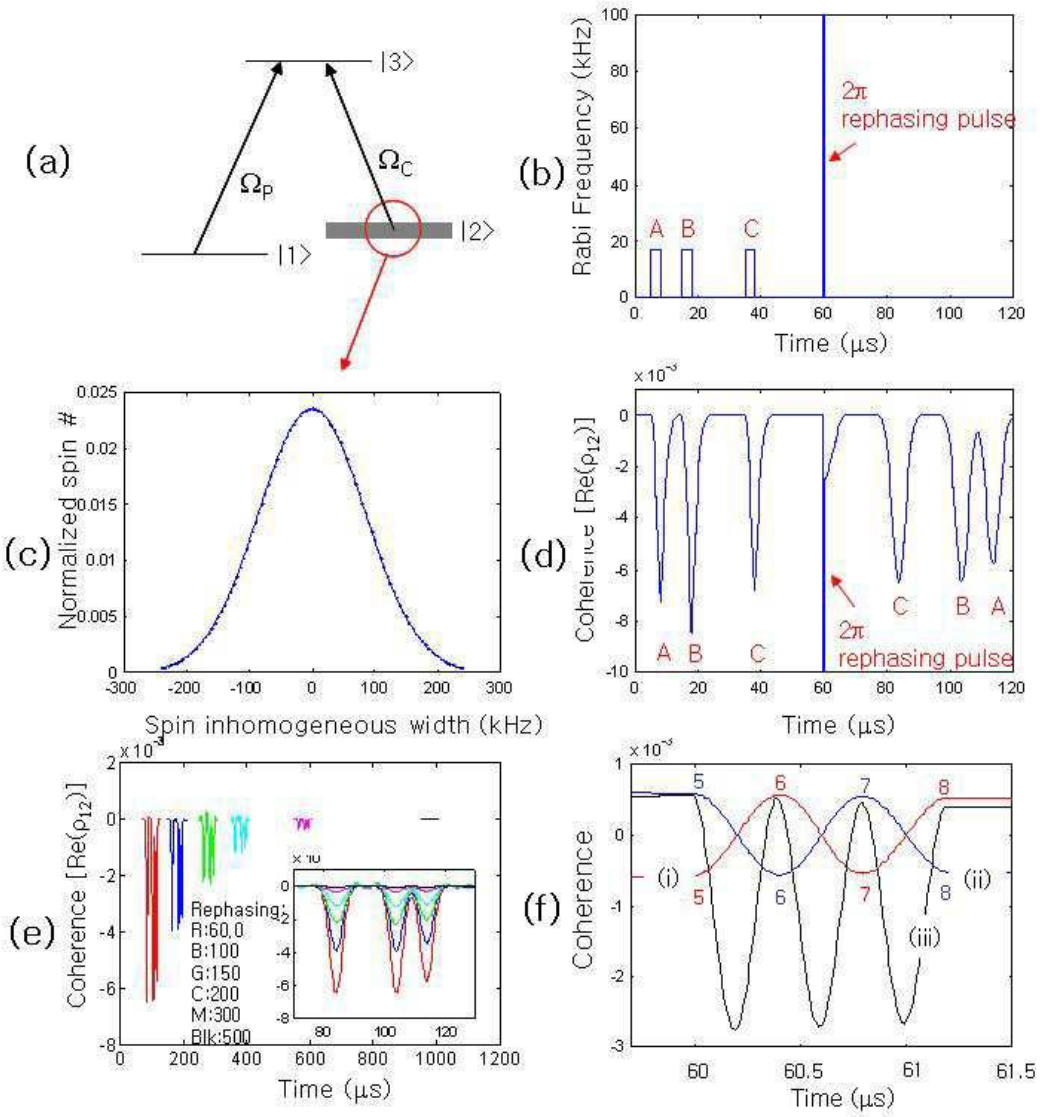
도면2


(a)
|3>
|2>
|1>
Ω_P
Ω_C
Δ
(b)
Rabi frequency (kHz)
D
R
(c)
Coherence [Re(ρ12)]
(d)
Coherence
Im(ρ13)
Re(ρ12)
(e)
Coherence [Im(ρ12)]
Time (μs)
(f)
Coherence
Im(ρ12 (−δ2))
Im(ρ12 (+δ2))
(g)
Time (μs)
Δ (ΩR)
(h)
Coherence
Im(ρ12 (−δ1))
Im(ρ12 (+δ1))
Time (μs)

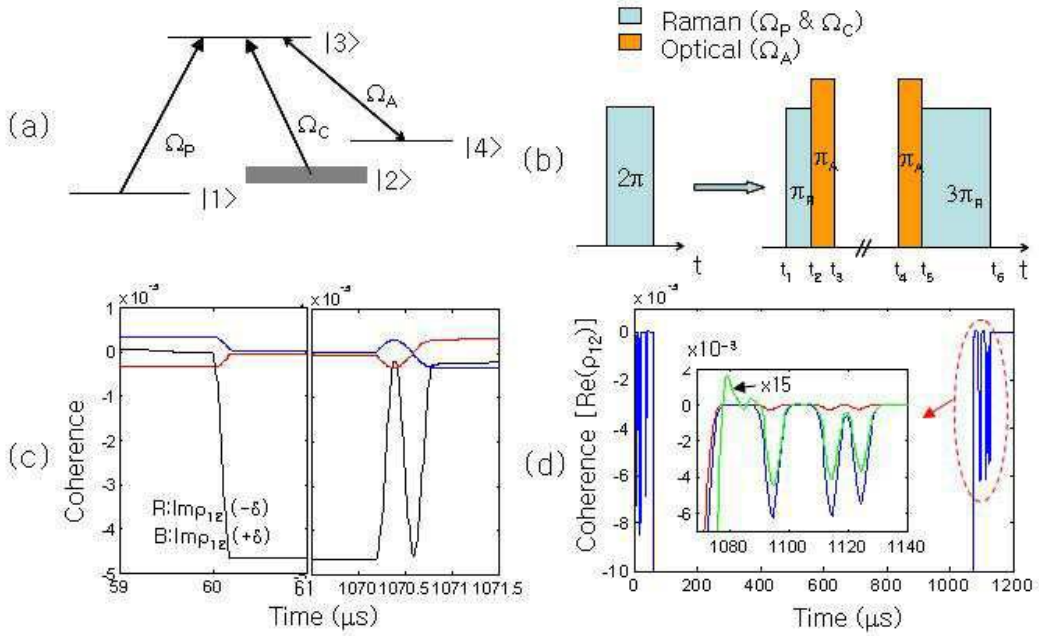
도면3



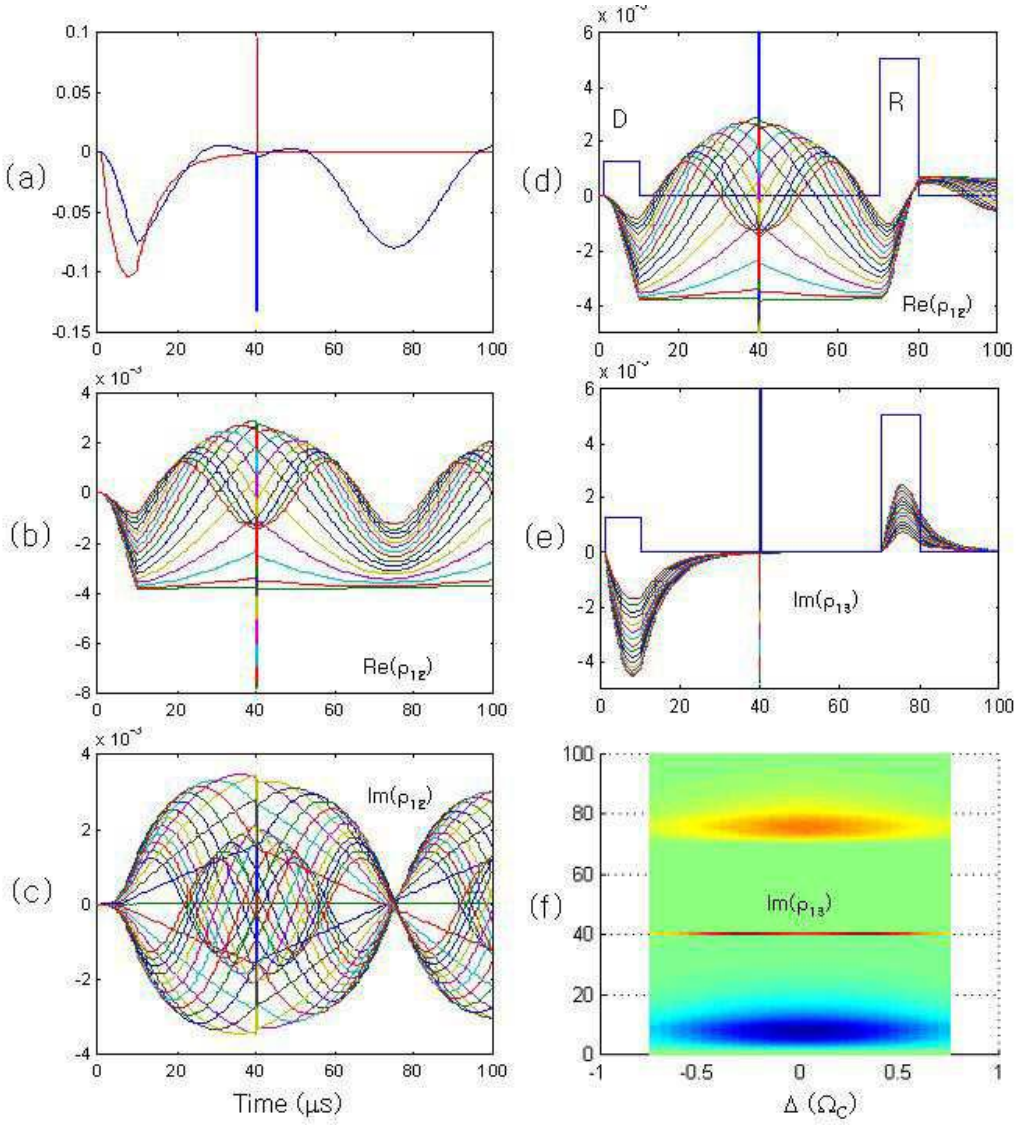
도면4


(a)
|3>
|2>
|1>
Ω_P
Ω_C
(b)
Rabi Frequency (kHz)
2π
rephasing pulse
A B C
Time (μs)
(c)
Normalized spin #
Spin inhomogeneous width (kHz)
(d)
Coherence [Re(ρ12)]
A B C
C B A
2π
rephasing pulse
Time (μs)
(e)
Coherence [Re(ρ12)]
Rephasing:
R:60.0
B:100
G:150
C:200
M:300
Blk:500
Time (μs)
(f)
Coherence
5 6 7 8
(i)
(ii)
(iii)
Time (μs)

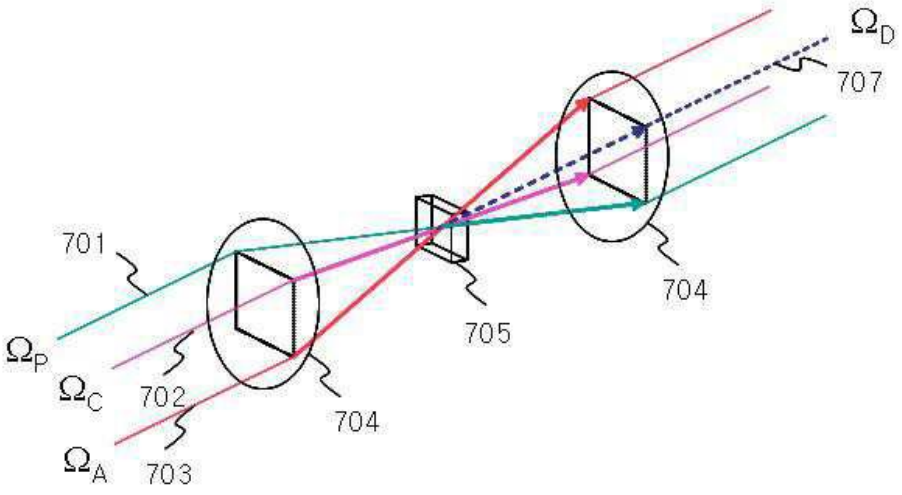
도면5


(a)
|3>
Ω_A
Ω_C
Ω_P
|4>
|2>
|1>
(b)
Raman (Ω_P & Ω_C)
Optical (Ω_A)
2π
π_R
π_A
π_A
$3\pi_R$
t
t_1 t_2 t_3 t_4 t_5 t_6 t
(c)
Coherence
R:Imρ_{12}(-δ)
B:Imρ_{12}(+δ)
Time (μs)
(d)
Coherence [Re(ρ_{12})]
x15
Time (μs)

도면6


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
D
R
Re(ρ12)
Im(ρ12)
Im(ρ13)
Time (μs)
Δ (ΩC)

도면7


ΩD
707
701
ΩP
ΩC
702
ΩA
703
704
705
704