

位相同期二重共鳴分光による Rb 原子の量子位相制御

(東工大¹、CREST²) ○笠井啓晃¹、福田浩司¹、酒井俊明¹、金森英人¹²

【序】量子コンピューティングにおける qubit を担う素子として様々な候補が挙げられているが、我々は分子の振動・回転状態を qubit として用いることを念頭に置き研究を行っている。量子演算を行う際には、まず量子状態の位相を制御することが前提となっており、我々は励起光の位相を制御し、コヒーレントな相互作用を通して物質の量子状態の位相を制御する。物質に書き込まれた位相情報のモニター方法として、位相同期 OODR、つまり相対位相を安定化させた二本のレーザー光源を用いた Λ 型光-光二重共鳴 (OODR) 分光を適用することにより、3次の非線形分極を位相敏感検出する手法を開発してきた。しかし、これまで行ってきた実験手法は二本の検出光のビートを直接検出する必要があり、 Λ 型 OODR における下の二準位間のエネルギー差を検出器が制限 ($\sim 20\text{GHz}$) していた。今回、今まで二本のレーザー光源の相対位相の安定化にのみ用いていた光コムという、周波数軸上に絶対周波数及び位相が安定した縦モードが $300\sim 600\text{THz}$ に渡り等間隔 (202MHz) に並んだ光源を、検出光とミキシングすることにより検出器の制限を受けず光コムの発振領域である 300THz 程度にまで広げる方法を提案し、原理検証実験を行った。

【実験】実験配置の概念図を図 1 に示す。sample はガラスセルに封入した ^{85}Rb 原子気体であり、 D_2 -line の超微細構造 (図 2) を qubit とする Λ 型 OODR 分光を行った。光源には Littrow 型外部共振器半導体レーザーを pump 及び probe として用いた。pump、probe それぞれの遷移周波数に共鳴させた後、光コムの近接モードとのビートを検出 (図 3) し参照信号と位相比較することにより、光源の位相安定化を行い、probe 光を位相安定化したまま参照信号を掃引することにより二重共鳴信号を観測した。検出系において観測されるビート信号は図 4 のようになり pump、probe それぞれと光コムの近接モード n 、 n' とのビートを検出し、それらを電氣的にミキシングし、更に参照信号とホモダイン検波することにより目的の位相情報を検出する。

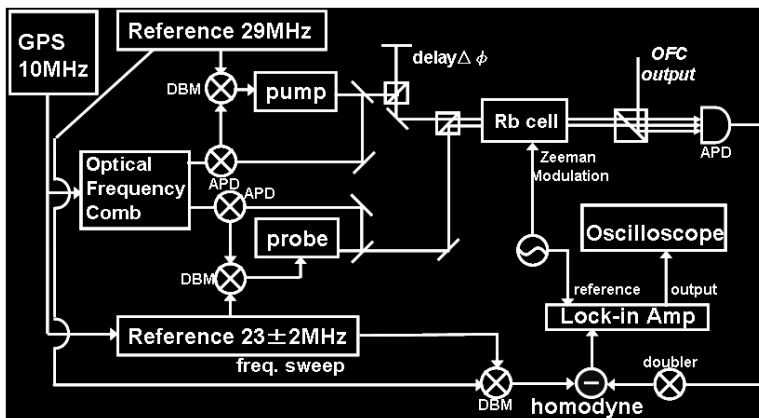
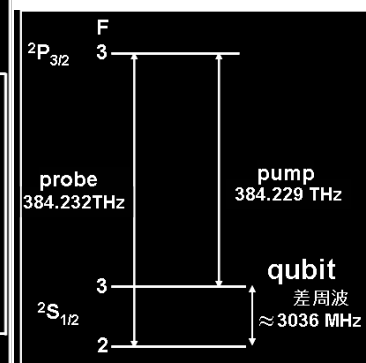


図 1. 実験配置の概念図

図 2. ^{85}Rb ターゲット準位

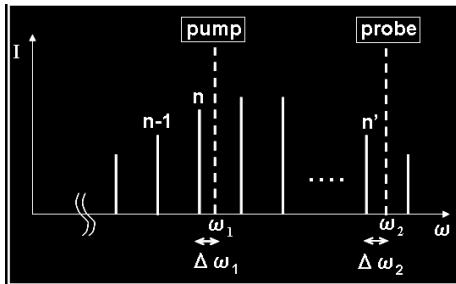


図 3.光コムのモードと laser の関係

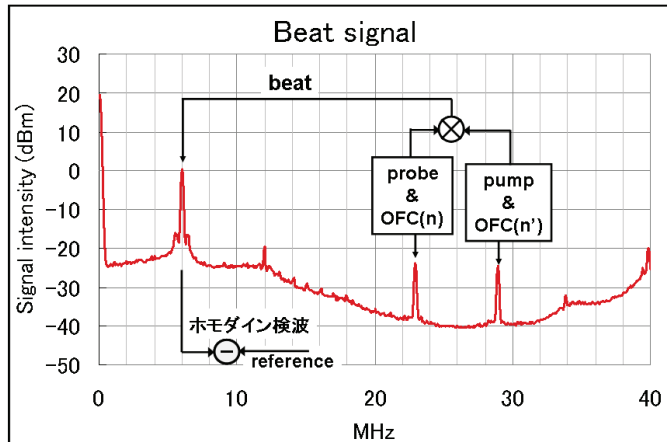


図 4.検出系におけるビート信号とホモダイン検波

【結果】 実験結果を図 5 に示す。二重共鳴信号は 1MHz の線幅で観測され、相対位相 $\Delta \phi$ の変化に伴い、分散型と吸収型の形に変わり、シミュレーションの結果と同様の振る舞いを示している。これは、Rb 原子の分極の位相を観測することで光により物質に書き込まれた位相情報の観測が行えた。

【展望】 今回の実験方法では観測するビート信号は二本のレーザーの差周波、つまり Λ 型 OODR の下準位間のエネルギー差ではなく、二本のレーザーと光コムの近接縦モード n, n' とのビートであり、101MHz 以下で観測することが出来る。本実験ではエネルギー差が 3036MHz であるため、 $n-n'=15$ であるがエネルギー差が大きくなった場合にも縦モードの差 $n-n'$ が変化するだけで同様の実験方法を用いることができる。よって、 Λ 型 OODR における下の二準位間のエネルギー差を光コムの発信領域 300THz にまで広げて位相同期 OODR を用いた物質の量子位相制御、及び観測を行うことができる。これにより、今回観測した超微細構造準位間のようなエネルギー差が小さい準位間だけでなく、分子の振動・回転準位にまで位相同期 OODR による物質の量子位相制御、及び観測を行うことが出来る。現在ヨウ素分子の振動準位間を qubit とする位相同期 OODR のための光源開発から試みている。

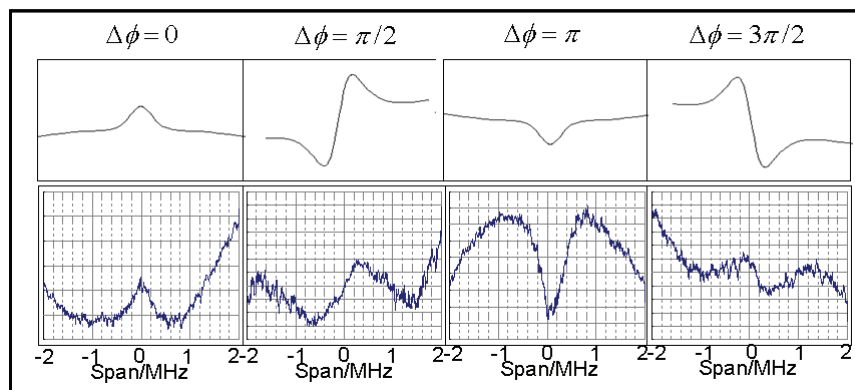


図 5.実験結果 レーザーの相対位相の変化に伴う OODR 信号の変化
上部：シミュレーション 下部：観測された位相同期 OODR 信号