

PR0688

位相制御した光による物質量子状態の位相操作

(東工大院・理工*, CREST**) ○福田 浩司*, 金森 英人*,**

【序】光周波数コム¹⁾(OFC)の登場により光領域の光源に対して、高精度な周波数測定が可能になった。本研究室では半導体レーザーを光周波数コムに光位相安定することにより、線幅を1Hzまで狭窄することに成功しており²⁾、さらに位相制御をおこなうことによって量子情報処理に応用することを目指している。今回は位相を制御した2本の半導体レーザーを用いて、実際の原子の励起状態を任意の位相での重ね合わせ状態を作り出し、その様子を分極の輻射の位相変化を測定することで検証した。

【理論】

位相が確定しているレーザー光は

$$E(t) = E_0 \exp(i\omega t + \varphi)$$

と表され、これを2準位系に照射することによって誘起される分極も特定の位相を持ったものになる。この分極からの輻射を考えると電場は

$$E(t) \propto E_1 \exp\{i(\omega t + \varphi' + \phi(\omega))\}$$

と表される。ここで、 $\phi(\omega)$ は物質固有の位相シフトである。一方、3準位系に対して、2本のレーザーを図1のように2重共鳴させた場合には、周波数 ω_1 、位相 φ_1 の光によって誘起された状態と周波数 ω_2 、

位相 φ_2 の光によって誘起された状態の重ね合わせ状態となる。このとき原子・分子の系には1次の分極の他に3つの準位がコヒーレントに結合された結果として3次の非線形感受率による分極 $P^{(3)}(\omega)$ が生成される。この3次の非線形分極による輻射と原子・分子系をそのまま透過してきたレーザー光を高速のフォトディテクター(PD)で受光すると

$$E(t) \propto \exp\{i(\Delta\omega t + \Delta\varphi + \phi(\Delta\omega))\}$$

というビート成分が発生するので、これを位相敏感検出することによって2つの光源の位相差 $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$ 項および $\phi(\Delta\omega)$ 項を直接観測することが出来る。

【実験】

実験ダイアグラムを図2に示す。分極の制御、観測に用いた物質系としてセルに封じた気体⁸⁵Rb原子を用い、図1に示した3準位を使って、 Λ 型OODRをおこなった。実験に用いた2つの光源はそれぞれ光周波数コム異なるモードに光位相安定化した近赤外領域(384THz)のLittrow型外部共振器半導体レーザー(ECDL)で、そのレーザービートの線幅は1Hz以下に抑えられている。一方のレーザーに光学遅延をつけること

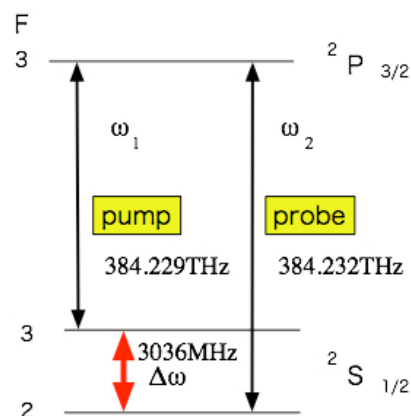


図1:実験に用いた⁸⁵RbのD2線

によって2本のレーザー間の位相差を設定した上で、原子を励起した。一方、図2の右上にあるように、物質と相互作用していない光学系を別に設置し参照用のビート信号を取り

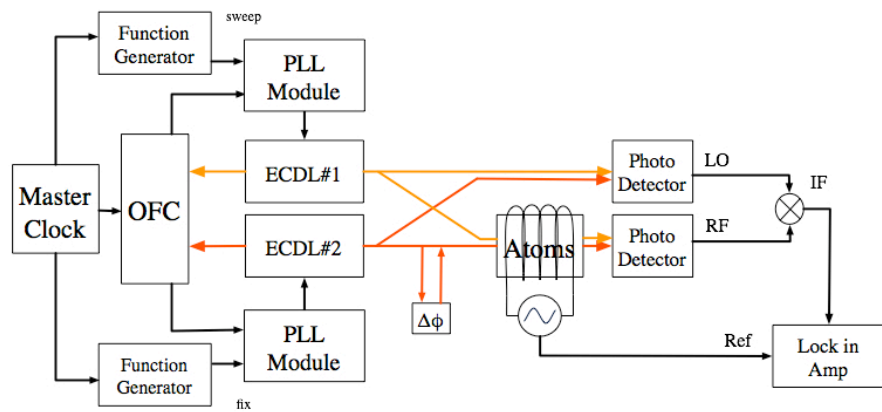


図2:実験ダイアグラム図

出した。原子と相互作用した光のビートと、相互作用していない光のビートをそれぞれ別の高速なPDで検出し、両者をさらにホモダイン検波することで、位相差を取り出した。その際、検出感度を上げるために、1kHzのZeeman変調をかけて物質との相互作用に関係ある信号のみを取り出している。

【結果】

図3は一方の光 (pump 光) をドップラー幅 (500MHz) 内の中心付近の適当な周波数に固定し、他方の光 (probe 光) を掃引した際のホモダイン検出信号で、下から差周波成分の位相差 $\Delta\varphi$ を0から π まで約 $\pi/5$ ごとに変えながら取ったものである。一般に $\Delta\omega$ の成分には1次の分極による信号と、二重共鳴が満たされた場合の3次の分極による信号が含まれるが、前者はドップラー幅のスペクトルで観測され、後者はサブドップラーのスペクトルとして観測される。図3で示されている2MHz幅の共鳴はドップラー幅より遙かに狭く、3次の分極によるものであるといえる。

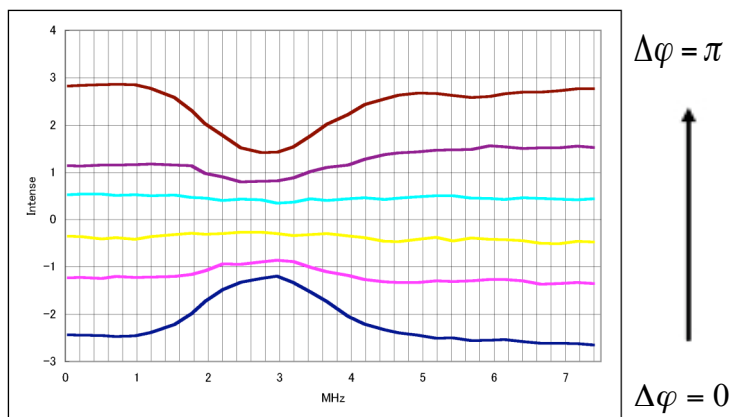


図3:2本のレーザーの位相差による信号の変化

すなわち、原子系の波動関数の重ね合わせ状態の位相制御とその位相の観測手段を確立したことを意味する。

- 1) Th. Udem, R. Holzwarth & T.W. Hänsch Nature 416, 14 (2002)
- 2) 福田 浩司、金森 英人 分子分光研究会 (2006)
- 3) H. R. Schlosseberg and A. Javan Phys. Rev. 150, 267 (1966)