

分子を用いた量子演算に向けたマイクロ波二重共鳴分光の研究

Study of Microwave Double Resonance Spectroscopy for Quantum Operation Using Molecule

(東工大院理工) 酒井俊明、福田浩司、金森英人

Toshiaki Sakai, Hiroshi Fukuda, Hideto Kanamori

Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

For the quantum computing operation for a qubit by using coherent interaction with radiation, it is the first step to observe Rabi oscillation in the transition. We tried to observe Rabi oscillation of an atomic qubit using hyperfine states of ^{87}Rb and a molecular qubit using rotational states of H_2CO . We intend to compare the atomic and molecular qubit by using double resonance experiment using pulsed microwave radiation.

【序】現在、量子情報処理における qubit としては、 ^{87}Rb 原子の超微細構造準位、および H_2CO 分子の回転準位である。前者は磁気双極子遷移であり、後者は電気双極子遷移であることから、他が同じ条件であれば 2 桁大きなラビ振動数となることが期待されるので、両者を比較することによって分子 qubit の優位性を顕示することを目標としている。

【実験と結果】

1) ^{87}Rb 原子の MODR 実験

^{87}Rb 原子の電子基底状態 $^2S_{1/2}$ の超微細構造遷移 $I=2-1$ を qubit とする実験には、シンセサイザーの出力 (6.8GHz) を DBM で高速スイッチングした後にパワーアンプで 1W まで増幅したパルスを用いた。その立ち上がり時間は 50ns であった。自作のスタンダードホーンの先端に設置した円筒形のパイレックスセルに Rb を封じ込み、マイクロ波に垂直な方向から D_2 線 (780nm) に共鳴する近赤外半導体レーザーを導入し、2重共鳴信号は近赤外レーザーの吸収でモニターした。プローブレーザー光のビーム径は 1cm で、Rb 蒸気の圧力は約 10^{-9} Torr とした。図 1 にマイクロ波のパワーを変えたときのプローブレーザーの変化を過渡吸収として示した。大きなステップ構造はマイクロ波による分布数の変化に対応し、立ち上がりに現れる減衰振動成分がラビ振動に対応する。マイクロ波の強度

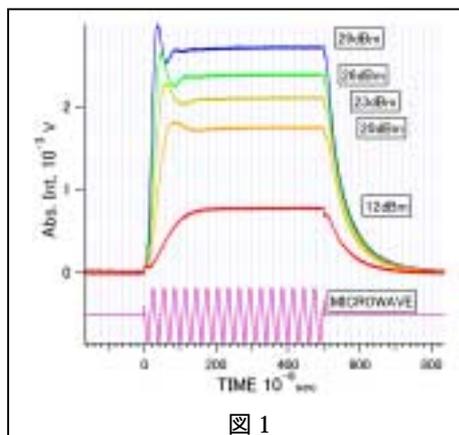


図 1

に応じて振動構造の周期が速くなっていることが読み取れる。ラビ振動の周期はおよそ数 $10\mu\text{s}$ のオーダーであり、同じ程度の早さの緩和時間で消失している。これは分子の自由運動による相互作用領域からの逸脱が原因と考えられる。

2) H_2CO 分子の MMDR 実験

分子の回転準位として H_2CO の $0_{0,0}$ 、 $1_{0,1}$ 、 $2_{0,2}$ の3準位を選び、カスケード型の MMDR 実験を行いラビ振動の観測を試みた。マイクロ波光源としては、 $1_{0,1}$ $0_{0,0}$ の遷移 (73GHz) 用にシンセサイザーの出力を逡倍器で4倍にしたもの、 $2_{0,2}$ $1_{0,1}$ の遷移 (145GHz) 用に位相安定化した BWO を用いた。 H_2CO の吸収強度は $1_{0,1}$ $0_{0,0}$ の遷移よりも $2_{0,2}$ $1_{0,1}$ の遷移の方が大きいので pump 光としては BWO の方が適しているのだが、BWO は位相安定化回路の時定数のために $100\mu\text{s}$ より立ち上がりの早いパルスを実現できなかった。一方、逡倍器の方はシンセサイザーのパルス変調機能を使ってパルス化したものを入力信号として用いたところ、立ち上がり時間 200ns のパルスとすることができた。そこで逡倍器出力をポンプ光、BWO 出力をモニター光とする時間分解二重共鳴分光の実験系を組んだ。試料セルは 2m 長の円筒型のパイレックスセルにアルミ箔を巻き円筒状形導波管状としたもので、ポンプとプローブのマイクロ波を両方向から入射し、BWO の透過光強度を InSb Detector で検出し、デジタルオシロスコープで積算した。 H_2CO の試料圧力は数 mTorr で圧力幅の影響が無いことを確認した上で実験を行った。図 2 はポンプ光の逡倍器の周波数を遷移周波数の中心に固定した条件でポンプ光をパルス変調し、モニター用の BWO の周波数を掃引したときの $1f$ 検波スペクトルである。吸収信号の中心にディップ構造が得られた。さらに、BWO の周波数を中心周波数に固定したままで、その過渡吸収を時間軸でモニターした。図 3 では逡倍器の周波数を共鳴周波数に共鳴した場合と 16MHz 外した場合の信号を引いたものを示している。その上にはポンプ光の時間変化をショットキーダイオードでモニターしたものを示した。モニター光はポンプ光が入った直後には発光（吸収の減少）を示し、その後反転して $3\mu\text{s}$ で減衰する。一方、ポンプ光が切れるときには一瞬吸収の増大を示すが $2\mu\text{s}$ で復帰する。後者の過程が存在することから、このうねりの構造は単純にラビ振動と考えられないが、コヒーレントな過渡現象であることは間違いない。現状の実験条件ではモニターに使っている光の方がポンプ光よりも強い遷移を起こしているので、電磁誘起透過・吸収に類する現象がおこっていると考えられる。

