

マイクロ波位相スイッチングによる回転準位間 Rabi 振動の制御

(東工大院理工) ○金森英人・笠井啓晃、砂川直紀

Control of Rabi oscillation of a rotational transition by using MW phase switching

(Tokyo Institute of Technology) Hideto Kanamori, Hiroaki Kasai, Naoki Sunagawa

Rabi oscillation in a molecular rotational transition was studied by MW-MW double resonance experiment. $J_{K_a,K_c} = 1_{01} - 0_{00}$ transition is pumped by sequential double pulse with the same or opposite phase, while $J_{K_a,K_c} = 2_{02} - 1_{01}$ transition is monitored by cw-MW source. Rabi oscillation was observed in the time domain spectra and Autler-Townes splitting in frequency domain spectra. The double pulse excitation with in- or out-phase showed forward or reverse time-developing of the quantum state.

【序】分子の量子状態の位相を直接制御することによって、量子情報処理やキラル分子の異性化反応に代表されるような分子集団に対するコヒーレント操作が可能になることが理論的に提案されている。¹⁾ 一方、電磁波の位相制御技術は光コムの実現によって、マイクロ波領域から可視光領域へと拡張されるようになり、我々も光コムに位相安定化した光を用いた光-光二重共鳴分光法を用いて、原子の超微細構造準位の量子位相を制御し、その結果をモニターする手法を開発してきた。次の段階として、分子の回転状態を量子位相を含めて制御することを試みている。従来のこの種の実験は単一のマイクロ波、あるいは赤外光の瞬時変動励起によるコヒーレント・トランジェント現象²⁾として研究されてきたが、本研究では MW-MW 二重共鳴法を用い、励起過程とモニター過程を分離することを試みた。また、これまでは導波管を試料セルとした実験をおこなってきたが、衝突緩和と室温のボルツマン分布によるバックグラウンド分布の弊害を避けるために、今回は超音速分子ジェットの系で実験をおこなった。

【実験と結果】

H₂CO 分子の MW-MW 二重共鳴実験

分子の回転準位として H₂CO の $J_{K_a,K_c} = 0_{0,0}, 1_{0,1}, 2_{0,2}$ の 3 準位を選び、 $1_{0,1} \leftarrow 0_{0,0}$ (72.838GHz) をポンプ、 $2_{0,2} \leftarrow 1_{0,1}$ (145.602GHz) を cw-プローブとするカスケード型の二重共鳴の条件で、パルス励起過程中の $1_{0,1}$ 準位の分布数の変化を実時間で観測した。図 1 に実験光学系の概略を示す。パラホルムアルデヒドを 80 度に熱し、昇華してくる H₂CO 蒸気を圧 6 気圧の He、または 1 気圧

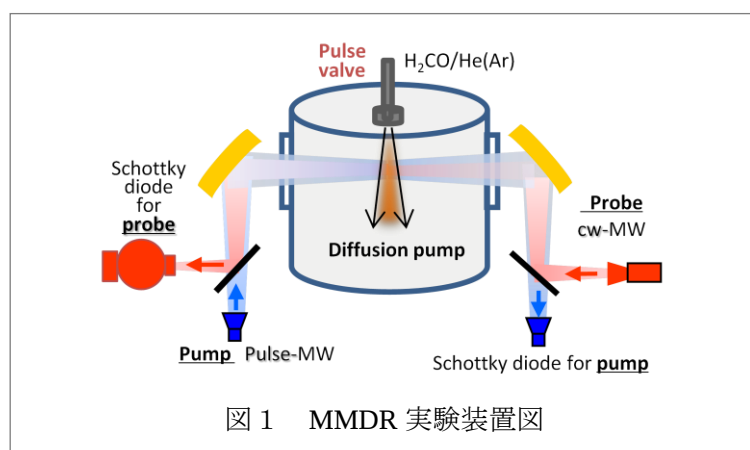


図 1 MMDR 実験装置図

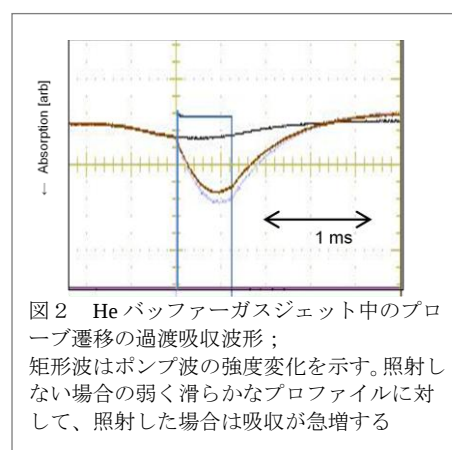


図 2 He バッファガスジェット中のプローブ遷移の過渡吸収波形；矩形波はポンプ波の強度変化を示す。照射しない場合の弱く滑らかなプロファイルに対して、照射した場合は吸収が急増する

の Ar を同伴ガスとして真空槽に噴出した。図 2 にポンプ波とプローブ波に現れた過渡吸収波形を時間軸で示す。分子ジェットの吸収信号が極大となる時刻を狙ってポンプ波を 0.5ms 間照射する。照射前後の吸収強度の変化から、 $1_{0,1}$ 準位の熱的分布数とポンプ波によって新たに汲み上げられた分布数の比が分かる。しかしながら、このミリ秒スケールで見えている過渡吸収現象はコヒーレントな現象が緩和した後の分布数の変化であり、Rabi 振動とは直接関係ない。

Autler-Townes 分裂と Rabi 振動の観測

図 3 に図 2 の信号に対して、ポンプ波照射前と後にサンプリングゲートを設定して得たプローブ波の時間分解スペクトルを周波数軸で示す。照射後のスペクトル波形には Autler-Townes 分裂³⁾が現れており、この分裂幅 1.1MHz に相当する Rabi 振動が時間軸で観測されるはずである。

図 4 に励起直後のプローブ波を帯域 80MHz の高速アンプで増幅した信号を時間軸で示す。ポンプ光を共鳴周波数に一致させたときの振動成分の周期は約 $0.9\mu\text{s}$ であり、図 3 の Autler-Townes 分裂の逆数と一致することから、これが Rabi 振動に対応する現象であることが分かる。また、2.5MHz 離調した場合は、理論通りに振幅が減少し、章動周波数が大きくなっている。

図 5 は高速のマイクロ波スイッチを使って、ポンプ波をダブルパルスとした時のもので、照射停止時には系の量子状態がフリーズし、 $1.0\mu\text{s}$ 後の照射再開と同時に時間発展が継続的に復活する様子が見られる。

逆位相ダブルパルス励起による Rabi 振動の観測

ダブルパルスの前者と後者の位相を 180 度シフトさせたマイクロ波ダブルパルス回路を製作した。73GHz で半周期の遅延を得るために、シンセサイザーからの 18GHz を 2 つに分け、一方に約 1 mm の遅延回路を作り、2 入力 1 出力 PIN ダイオードスイッチで出力を切り替えて 4 通倍周器に入力した。切り替え時に 50ns の無出力時間が生じるが、先の同位相ダブルパルス実験で実証されたように、量子系の時間発展の問題にはならない。実験結果は切り替え直後に、吸収の増大が減少にと転じており、時間発展の向きが反転する様子が観測された。

- 1) I. Thanoplos, P. Kral, and M. Shapiro, J. Chem. Phys. 119, 5105 (2003).
- 2) J. I. Steinfeld, "Laser and coherence spectroscopy" Plenum press, New york (1978).
- 3) S. H. Autler, and C. H. Townes, Phys. Rev. 100, 703 (1955)

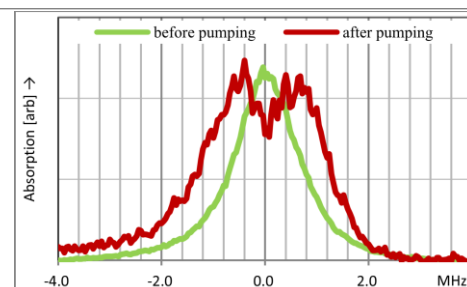


図 3 J=2-1 プローブ遷移に現れたポンプ波による Autler-Townes 分裂

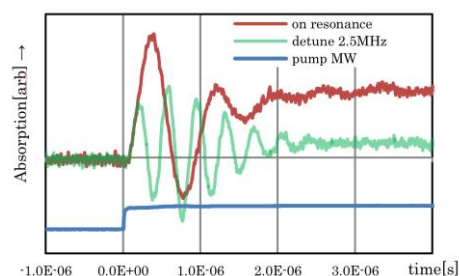


図 4 ポンプ波共鳴時と離調時にプローブ信号遷移に現れた章動現象:

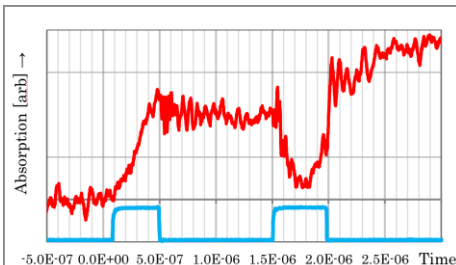


図 5 同位相ダブルパルスによる励起

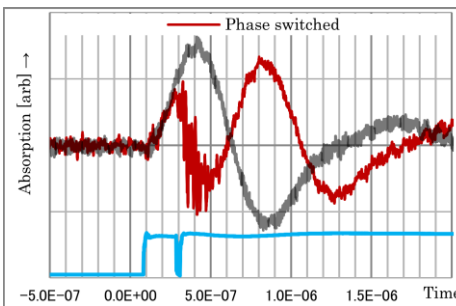


図 6 逆位相ダブルパルスによる励起