

二次元位相変調器を用いた 固体パラ水素の振動波動関数の位相制御

(¹奈良先端大物質, ²JST さきがけ, ³分子研)
○香月 浩之^{1,2}, 大森 健三¹, 堀江 徹¹, 柳 久雄¹, 大森 賢治³

Phase manipulation of vibrational wavefunction of solid para-hydrogen using 2D spatial light modulator

(¹NAIST, ²JST PRESTO, ³IMS) ○Hiroyuki Katsuki^{1,2}, Kenzo Ohmori¹,
Toru Horie¹, Hisao Yanagi¹, Kenji Ohmori³

【はじめに】

高度に波形整形されたパルスレーザーを用いて物質の量子状態の制御を行う手法はコヒーレント制御と呼ばれ、量子情報処理や化学反応制御において特定の量子状態を生成するための基盤技術として重要である。我々の研究では、これまでに気相中の孤立ヨウ素分子や固体パラ水素結晶の振動状態を対象として、時間遅延をつけたダブルパルス光源として励起波束間の干渉を制御する実験を行ってきた[1-3]。本研究では時間的なパルス整形に加えて、空間位相変調器(LCOS-SLM)によりレーザー光の空間的な強度分布も制御することにより、異なる初期位相状態を結晶中の空間的に離れた領域に生成し、時間遅延後に干渉測定によりその位相、強度分布を読み出すという実験を行った[4]。

【実験方法】

固体パラ水素結晶は固体凝縮系でありながら振動コヒーレンス寿命がナノ秒程度と長く、量子干渉による量子状態制御を固体凝縮系に応用する対象として理想的である。ノーマル水素ガスを極低温で触媒に接触させることでパラ水素に変換し、冷凍機中に固定した銅製セル中にパラ水素ガスを流し込み、結晶を成長させた。本研究ではチタンサファイアオシレータの出力の一部をストークス光(波長 830nm)として利用し、残りは OPO でポンプ光(波長 617nm)に波長変換して、誘導ラマン遷移によってパラ水素結晶のコヒーレント振動励起を行った。励起される準位は遷移選択則により $v=1, J=0, k=0$ にほぼ限定される。ここで v, J は振動回転量子数、 k は振動バンド内の波数ベクトルである。

それぞれのパルスを、時間遅延をかけたダブルパルスとし、二度の励起間で干渉を引き起こす。これらをポンプ 1、ポンプ 2、ストークス 1、ストークス 2

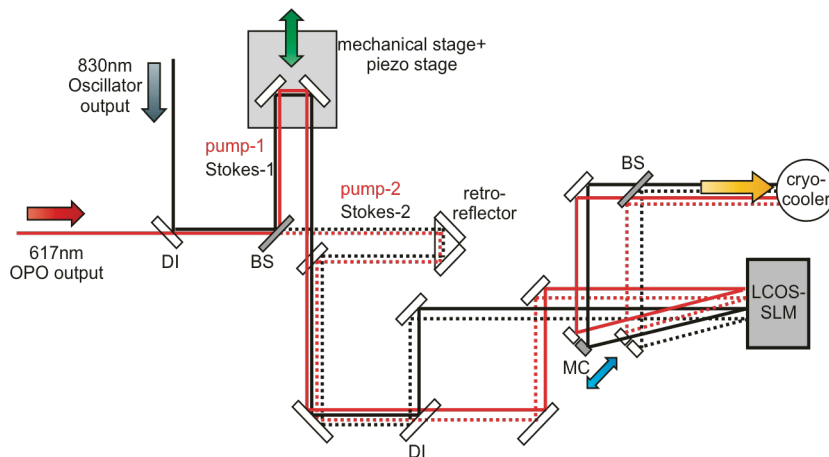


図1 空間位相変調器とダブルパルス干渉計を組み合わせた光学系

パルスと呼ぶ。この際、それぞれのパルスを LCOS-SLM によって変調をすることで、焦点面における位相と強度分布を作り出した。具体的な実験光学系を図 1 に示す。LCOS-SLM に表示する位相変調マスクは、焦点面において各パルスが図 2 のような 2x2 のドットパターンに集光するように設計した。図 1 の光学系に対し、LCOS-SLM 表示部を四分割して個別のマスクを用いることで、ポンプ光及びストークス光の各パルスに対して任意の初期位相が印加できる。パラ水素結晶中に生成された振動強度分布は、プローブ光のアンチストークス散乱によって読み出す。空間的な振動励起状態の分布を一括して読み出すために、プローブ光の集光サイズはポンプ・ストークス光のパターン全体を覆うようにしておくことで、結晶中の二次元振動波動関数分布を CCD カメラに結像して観測することが可能となる。

【結果と議論】

二回のラマン励起のタイミングを掃引しながらアンチストークス光を観測することで、8fs 周期のシグナルの振動が観測された。これは振動波動関数の位相の時間発展周波数に対応している。また、アンチストークス光として得られたシグナルの空間分布は、LCOS-SLM でデザインした入射光の強度分布を反映しており、空間的な強度分布情報を固体パラ水素中に保持し、読み出せることが示された。さらに、ストークス光の位相分布を固定しておいて、ポンプ光の位相分布を制御することにより、ラマン遷移で書き込まれる振動状態波動関数の初期位相分布を制御できることが波束干渉測定から導かれた。具体的には、4 本の書き込みパルスのうち、ポンプ 1 のパルスに対してのみ、図 2 の 4 つのスポットにおける相対位相分布が $(0,0,0,0)$ 、 $(0,180,0,180)$ 、そして $(0,270,180,90)$ となるような位相変調マスクを作成して量子干渉実験を行った場合、アンチストークス光の空間分布には、印加した初期位相に応じて異なる位相で振動する時間変動が観測された。実験結果から求められた初期位相値とマスクに印加した位相設定値間にはよい一致が得られた。以上の結果から、任意の位相強度分布を持った光を書き込みに用い、波束干渉で位相分布を強度分布に転写して読み出すことにより、固体中の波動関数の空間分布を位相まで含めて読み出せることが示された。

本研究ではバルクな固体パラ水素が対象であるため、波動関数の振動周期は結晶中の位置によらず一定であると仮定している。不均一な環境下にある対象に同様の手法を用いた場合には、位置によって異なる周期で振動するシグナルを観測できると期待される。不純物のドーピングの様な静的な不均一場や、外場による過渡的な摂動の印加の様な動的な不均一場など、様々な効果を評価する手法に応用できると期待している。

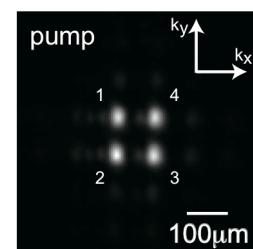


図 2 2x2 集光スポット

【参考文献】

- [1] H. Katsuki *et al.*, Phys. Rev. A **76**, 013403 (2007)
- [2] H. Katsuki *et al.*, Phys. Rev. Lett. **102**, 103602 (2009).
- [3] H. Katsuki *et al.*, Phys. Rev. B **88**, 014507 (2013)
- [4] H. Katsuki *et al.*, submitted.