

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：63903

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2021

課題番号：20K22540

研究課題名(和文) 星間塵表面における水素分子の核スピン転換過程のin-situ非線形ラマン分光観測

研究課題名(英文) In-situ nonlinear Raman spectroscopic observation of nuclear spin conversion process of molecular hydrogen on the surface of interstellar dust

研究代表者

鶴岡 和幸 (Tsuruoka, Kazuyuki)

分子科学研究所・物質分子科学研究領域・特任研究員

研究者番号：80884775

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：研究室所有のTi:サファイアレーザー(800 nm)を用いて、非線形ラマン分光測定を行うための光学系の立ち上げを完了した。スーパーコンティニューム光を用いたマルチプレックス方式、及びフェムト秒超短パルスレーザーを用いたインパルス励起方式の両方式を実施可能とした。星間分子雲環境のモデル系となる温度、圧力条件を再現した装置内で星間塵を模した氷薄膜、水素ガス分子について非線形ラマンスペクトルの測定に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

星間分子雲に存在する水素分子の赤外観測情報は、周囲環境の過去の情報を持ち、分子雲の年齢や星形成メカニズムの解明のための鍵となる。本研究で用いた非線形ラマン分光により、従来の実験手法では困難であった等核二原子分子吸着種の量子状態・量子ダイナミクスをラボ実験により明らかにでき、宇宙空間での星形成メカニクスの解明に演繹することができると期待される。

研究成果の概要(英文)：We have completed the setup of an optical system for nonlinear Raman spectroscopy using a Ti:sapphire laser (800 nm) owned by our laboratory. Both the multiplexing method using supercontinuum light and the impulsive excitation method using femtosecond ultrashort pulse lasers are now available. Nonlinear Raman spectra of ice films and hydrogen gas molecules were successfully measured in the apparatus that reproduces the temperature and pressure conditions of a model system for interstellar molecular cloud environments.

研究分野：表面科学

キーワード：非線形分光 水素分子 星間塵

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

星間分子雲に最も豊富に存在する水素分子の赤外観測情報は、周囲環境の過去の情報を含んでおり、分子雲の年齢や星形成メカニズムの解明のための鍵となることが知られている。しかし、赤外天文観測の結果がどれほど過去のもを反映しているのかといった定量的側面に関して情報を得ることは難しく考察はほとんど進んでいないのが現状である。そこで、宇宙空間を再現した実験室系において近い環境を再現し、実験的に明らかにすることができると考え、研究提案を行った。

2. 研究の目的

真空装置内に星間分子雲環境を再現し、モデル鉱物表面上に吸着させた水素分子に対して量子状態・量子ダイナミクスをを解明することを目標とした。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するため、(1) 等核二原子分子の観測に対して光学的な運動歴選択則を有する非線形分光法を観測手法として採用し、新たな光学系の構築を行う、(2) 研究室的にこれまで既報があり、知見が得られている水分子を対象として分光光学系を最適化及び高精度化する、といった準備段階を経た。

(1) 非線形分光光学系の構築

測定の対象分子となる水素は等核二原子分子であり、測定には赤外分光は利用できない。また、一般的な自発ラマン分光は発生した光の収集効率が悪く、微量の分子測定に適さない。そこで非線形ラマン分光法に注目した。これは指向性のある光が発せられるため、効率的に検出器に取り込むことができ、自発ラマンに対して数桁の感度上昇が見込まれる。一方で、自発ラマンよりも光学系は複雑になり、導入するポンプ光とストークス光の時間的、空間的コヒーレンスの確保が必要になるとともに、安定で高強度の光源が必要となる。

光源は基本波 800nm のパルスレーザー (Spitfire Ace, Spectra-physics 16W, 5kHz) を分岐、減光して使用した。ポンプ光はパルス時間幅を伸ばすことで帯域を狭めた (1、中心 794.9 nm、半値全幅 1 nm、 ~ 5 mW) の光を用いた。ストークス光は、媒質を通過させて発生させたスーパーコンティニウム光 (850 ~ 1200nm、50 mW) を用いるマルチプレックス方式と超短パルスインパルス方式 (800 ~ 850 nm、50 mW) を適宜使い分けられるようにした。

(2) 氷薄膜を対象とした非線形振動分光の測定

実験は 5×10^{-8} Pa 以下の超高真空下で行われた。Pt(111)基板をチャンバー内に準備した。内部を液体窒素が流れるチューブが取り付けられており、また、ペレットの背面に Ta 線がスポット溶接されているため、液体窒素と Ta 線による抵抗加熱によって平衡状態を作り出し温度を制御した。水蒸気蒸着によってにより Pt(111)上にナノスケールのアモルファス (ASW) 膜と結晶 (CI)

膜をそれぞれ生成した。生成した氷それぞれに対して非線形振動スペクトルの測定を行い、その厚さ依存性や、相の違いによるスペクトルの差異の検出を行った。

4. 研究成果

図 1a.b に測定した CI および ASW の非線形振動スペクトルを示す。

100L および 200L 積層では、量とピーク強度にそれぞれ正の相関があることがわかる。測定されたピーク強度と積層量の関係は 1a と 1b の挿入図に表される。数 nm から数百 nm の氷に対して測定に成功した。各測定は 30 秒間の積分で行われた。入射光のコヒーレント長 1、2 は氷の厚みに対して十分長いので、実際に測定されるスペクトル強度は層数の 2 乗に比例する。実験から得られた結果はこの理論と一致していることが分かった。

また、本手法が自発ラマンよりも感度が高く、短時間で測定ができるという特性を利用し数百秒単位で完了するナノスケール氷の相転移に対して in-situ での測定に成功している。図 2. は 700L 積層時のアモルファス氷の結晶化の過程をとらえたものであり、30 秒ごとにメインピークの強度上昇やピークシフトといった変化がみられる。

さらに、これらの計測を通じて最適化及び高精度化を行った分光システムを用いて、1 分子吸着層に対する高感度観測の可能性を見出し、H₂, D₂ の振動・回転等の量子状態別観測にも成功した。

現在、これらの成果を国際誌に投稿する論文としてまとめているとともに、吸着水素分子の量子状態・量子ダイナミクスの更なる解明に向けて研究活動を継続している。

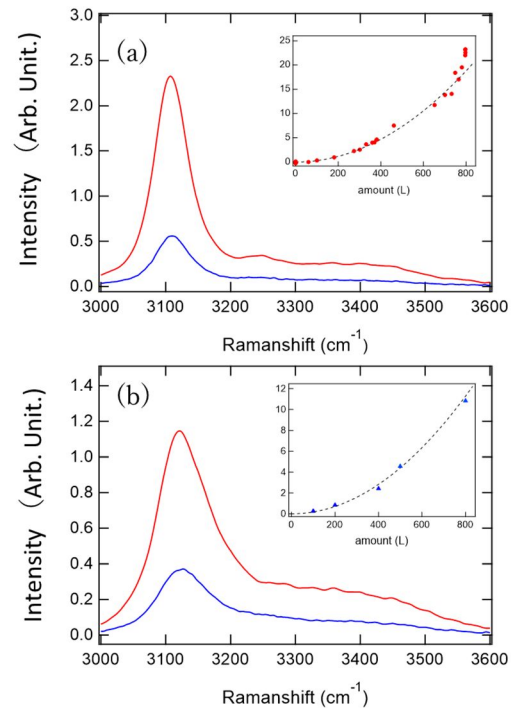


図 1. (a)CI と(b)ASW の非線形振動スペクトル。赤線は 200 L 積層時のスペクトル、青線は 100 L 積層時のスペクトルを示す。挿入図は、層数と非線形振動スペクトル強度の相関を示す。

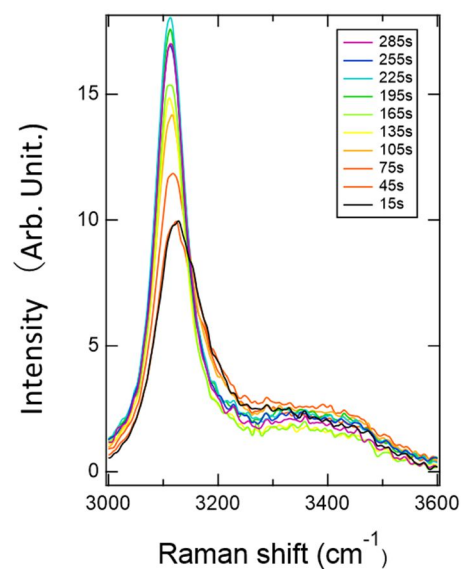


図 2. 150K における ASW から CI への相転移の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------