

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料 〔令和4（2022）年度 中間評価用〕

令和4年3月31日現在

研究期間：2020年度～2024年度
課題番号：20H05642
研究課題名：真空紫外高分解能レーザー分光学の基盤の構築と反水素レーザー冷却への展開
研究代表者氏名（ローマ字）：桂川 眞幸（KATSURAGAWA Masayuki）
所属研究機関・部局・職：電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授
研究者番号：10251711

研究の概要：

非線形光学過程に人為的な相対位相制御を組込んだ量子効率1の非線形波長変換の物理を真空紫外域に展開することで、応用レベルで利用可能なレーザー技術：真空紫外・単一周波数・波長可変レーザーを実現する。また、実現されるレーザーを技術基盤として、真空紫外域における高分解能レーザー分光学を開拓し、さらにその知見をもとに反水素レーザー冷却の定量的なシナリオを構築することを目指す。

研究分野：量子エレクトロニクス、原子・分子・光物理学、レーザー分光学

キーワード：真空紫外単一周波数波長可変レーザー、高分解能レーザー分光

1. 研究開始当初の背景

光・量子科学はレーザーの極限化技術と共に互いに表裏一体をなし発展してきた。ほぼ全ての領域が開拓されてきたように見える一方で、レーザーの発明から60年以上を経た現代でも全く手つかずのレーザー技術の領域が残されている。真空紫外域（波長 < 200 nm）における単一周波数・波長可変レーザー技術（図1の未踏）はまさにその一つである。

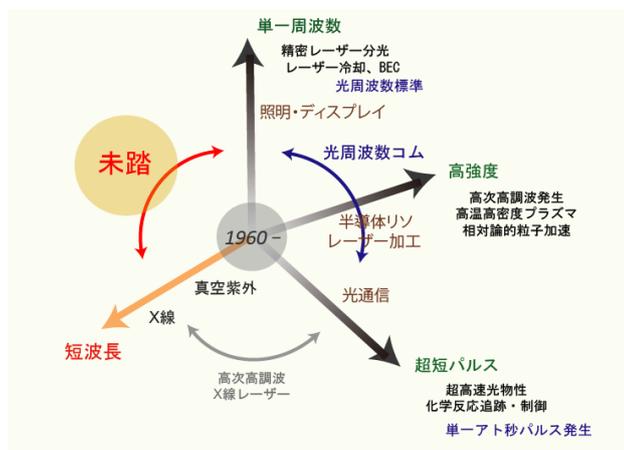


図1 レーザー技術の極限化と相補的に発展する光・量子科学の多様な研究領域

2. 研究の目的

この研究課題では、パラ水素の振動ラマン遷移を断熱励起することで、低温・高密度のパラ水素分子集団中に理論限界に近い高コヒーレンスを生成し、かつ、そのコヒーレンスを介した非線形光学過程に人為的な相対位相制御を組込むことで、応用レベルで利用可能な真空紫外・単一周波数・波長可変レーザーの実現を目指す。また、研究課題のもう一つの狙いは、実現される真空紫外単一周波数波長可変レーザーを技術基盤として、真空紫外域における高分解能レーザー分光学を開拓することにある。第一義的な分光対象

は水素原子の *Lyman α* 遷移 (121.6 nm) であり、さらに、得られた知見と技術基盤をもとに反水素原子をレーザー冷却するための定量的なシナリオを構築することを目指す。

3. 研究の方法

現在でも真空紫外域に有効な単一周波数・波長可変レーザーが実現されていない理由は単純で、この領域に透明な固体（レーザー媒質・非線形光学媒質）が存在しないことによる。この研究課題では気体を非線形光学媒質として用いる。一般に、気体は希薄で非線形性も低いと捉えられがちであるが、それは必ずしも物理的に正しくない。気体にはシャープな共鳴構造があり、その顕著な“量子性”を有効に使うと、実は固体を凌駕する効率の良い非線形光学過程を実現することが可能である。実際、研究代表者は、非線形光学過程に人為的な位相制御を組込むと量子効率 1 の非線形波長変換が可能になるということを見出し、これまでに理論的な枠組みを構築し原理実証実験をおこなった。この研究課題では、これらの成果を気体を媒質とする高次の非線形光学過程に適用することで、真空紫外域において応用レベルで利用可能な単一周波数・波長可変レーザーを実現する。また、実現されるレーザーを用いて *Lyman α* 遷移を冷却遷移とする反水素のレーザー冷却のシナリオを、水素原子をテスト媒質とした実験をもとに構築する。

4. これまでの成果

令和 2 年度 10 月からの 1 年半の間、位相操作を組込んだ誘導ラマン散乱光発生過程の人為的な操作を高次過程に拡張する研究を進めた。液体窒素温度下 (77 K) に置かれたパラ水素分子気体 (純度:>99.99%) 中に位相操作可能な機構を組込んだ高度なラマンセルの開発をおこなった。また、実際にそれを用いて高次過程まで高効率な発生 (数+%) が実現されている状況下で、高次誘導ラマン散乱光発生過程を様々な形態に操作できるかという実験を実施した。特定次数への選択的な誘導ラマン散乱光発生への集中や、その逆の極限に位置する広帯域に渡る高次モードに平坦な強度分布の発生光を生成するなど、目的に応じて非線形光学過程の形態の操作が可能であることを実験的に示した。

この成果を真空紫外域に接続させるための実験システムの構築を進めた。高出力化でも空間モードが単一に維持される注入同期 Ti:s レーザーの開発をおこない、また、真空紫外域において高分解能レーザー分光実験をおこなうための真空・光計測システムを整備した。

5. 今後の計画

- ・新しいデザインの注入同期 Ti:s レーザーの開発を完了させ、真空紫外レーザー光発生実験に本格的な取り組む。
- ・また、真空紫外レーザー光発生実験 (定量評価) から真空紫外高分解能レーザー分光実験へと接続させ、真空紫外域における高分解能分光学の基盤をつくる。
- ・さらに、水素原子 *Lyman α* 遷移の高分解能レーザー分光実験とそれを拡張した冷却実験に取り組み、得られた実験結果をもとに、反水素冷却実験に向けた定量的なシナリオを作る。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

7. ホームページ等