



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 薄いガラスセルを用いたセシウム原子の速度選択的光ポンピングとその応用                                                                                                              |
| Author(s)    | 福田, 京也                                                                                                                                          |
| Citation     | 大阪大学, 2005, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/46728">https://hdl.handle.net/11094/46728</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------|
| 氏 名           | 福 田 京 也                                                 |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                               |
| 学 位 記 番 号     | 第 19818 号                                               |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 17 年 9 月 30 日                                        |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第1項該当<br>基礎工学研究科システム創成専攻                         |
| 学 位 論 文 名     | 薄いガラスセルを用いたセシウム原子の速度選択的光ポンピングとその<br>応用                  |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 占部 伸二<br><br>(副査)<br>教 授 小林 哲郎    教 授 岡村 康行 |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、薄いガラスセル中の原子の速度選択的光ポンピングとその応用についての研究成果をまとめたものである。

まず二台のレーザー光源を、次に一台のレーザー光源を用いて、薄いセル中のセシウム原子のポンププローブ二重共鳴分光法を行い、極めて薄いガラスセルを用いなくてもサブドップラー構造が観測できることを示した。非共鳴で光ポンピングされた原子が、鋭いサブドップラースペクトルを生じることを、壁面と原子との緩和を考慮した簡単なレート方程式のモデル計算によって解明した。この手法によって得られたサブドップラー信号を用いて、レーザー光源の周波数安定化を行い、本手法の有用性、実効性を検証した。

次に、薄いガラスセル中の原子における Electromagnetically Induced Transparency (EIT) スペクトルの観測を行い、セルの寸法形状がスペクトル線幅に大きな影響を与えることを示した。セルの長さが十分短かつレーザー光強度が弱い場合、小さい速度成分の原子のみが信号に寄与することでスペクトルの狭窄化現象を生じることを、初めて実験によって示した。また簡単なモデル計算を行い、暗状態の速度分布が非マクスウェル分布を持つことが、スペクトル線幅に対する狭窄化現象を生じる原因であることを明らかにした。

さらに、 $\Lambda$ 型共鳴を保ちつつ、レーザー周波数の原子共鳴周波数差（オフセット周波数）を変えることで、EIT 信号に寄与する原子の速度選択を行った。オフセット周波数に対する信号形状の変化を観測し、ロックイン検波によって EIT 共鳴の鋭さを評価した。セルの長さが短くなるにつれ、2f モードに設定されたロックイン検波スペクトルにサブドップラー構造が現れることを示した。

以上、これらの実験結果を本論文にまとめることで、薄いガラスセル中の原子に対する光ポンピングの有用性、実用性を示すことができた。

### 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

気体原子を用いた高分解能分光は、これまで飽和吸収分光法、原子線分光法などドップラーフリーな分光法が開発

され、レーザーの絶対周波数安定化などに応用されてきた。最近、新たな分光法として、非常に薄いガラスセル中で光ポンピングを行うことによって、ドップラーフリーの吸収スペクトルを観測できるという提案がなされている。本論文は薄いガラスセル中のセシウム原子を用いて、超微細構造準位間において速度選択的に光ポンピングを行い、ドップラーフリーの吸収スペクトルを観測するとともに、レーザーの周波数安定化に適した実験系を開発し、実験および理論解析を行いその有用性を示したものである。

まず、筆者は薄いガラスセルでの二台のレーザーを用いたポンプ・プローブ二重共鳴分光実験を行い、極めて薄いガラスセルを用いなくてもドップラー幅よりはるかに狭い吸収スペクトルが得られることを示した。これは、薄いガラスセル中で超微細構造準位間の光ポンピングを行うと、壁との衝突緩和により、ガラス壁に平行な速度成分を持つ原子のみを選択的に一つの超微細構造準位に集めることができるためであり、レート方程式モデルを用いて解析を行い、実験結果と一致する吸収スペクトルが得られることを理論的に示している。次に、一台のレーザーからの光を二つに分割し、一つをポンプ光、もう一つをプローブ光として用いるポンプ・プローブ二重共鳴実験を行い、一台のレーザーのみでもドップラー幅よりはるかに狭い吸収スペクトルが得られることを示した。この方法はレーザーの簡便な周波数安定化法として用いることができる。実際にこの方法を用いた二台の周波数安定化半導体レーザーシステムを開発し、そのビート周波数を評価することにより、この方法の有用性を検証している。さらに、薄いガラスセル中の電磁誘起透明化 (EIT) 現象により得られるスペクトル幅とガラスセルの形状の関係について、実験的および理論的な解析、スペクトルの鋭さの新たな評価法の考案を行い、EIT 信号のレーザー周波数安定化への応用、および小型マイクロ波周波数標準への応用の可能性について問題点を明らかにしている。

博士 (工学) の学位論文として価値のあるものとして認める。