

# 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 大坪 望

本論文は5章からなる。第1章は序論であり、極低温冷却原子気体および極低温極性分子気体の研究の現状および本研究の意義が述べられている。第2章では、レーザー冷却の原理、レーザー周波数安定化の手法、およびフェッシュバツハ共鳴を用いた分子の生成手法に関する理論が記述されている。第3章は実験装置に関する章で、レーザー冷却のための光源開発、偏光分光を用いたレーザー周波数安定化、ゼーマン減速器の作成、磁気トラップコイルの作成について記述されている。4章では、3章で記述された実験装置を実際に用いたLi原子およびRb原子の同時冷却実験について述べられている。第5章では本研究のまとめと今後の展望について述べられている。

極低温極性分子は、異方的な長距離相互作用を持つことから、近年新しい量子凝縮相の研究対象として大きな注目を集めており、実際にRbK原子の振動基底状態にある極低温分子は2008年に米国のJILAのグループによって実現されている。しかしRbK分子の電気双極子モーメントは0.6デバイと比較的小さく、新たな量子凝縮相の探索には有利とは言えない。それに対してRbLi分子の電気双極子モーメントはRbK分子の7倍の4.2デバイであり、RbK分子の約50倍の双極子・双極子相互作用を示すことが理論的に予言されている。しかもLi原子にはフェルミオンの同位体が存在し、ボゾンである $^{87}\text{Rb}$ 原子とフェルミオンである $^6\text{Li}$ からなる分子はフェルミオンであることから、極低温下でのS波散乱がパウリ原理によって禁止されるため長い寿命を持つという利点がある。しかしながら、現在までLiRb分子の生成に成功した例は報告されてない。その背景には、 $^6\text{Li}$ 原子はレーザー冷却に用いる遷移の励起状態における超微細構造分裂が自然幅より小さく、実質的には複数の励起状態が縮退しているという他のアルカリ原子にない特徴を持っているため、レーザー冷却やレーザー周波数安定化の研究報告がRbやNaといった他のアルカリ原子に比べて少ないことなどが挙げられる。このような状況のもと、大坪氏は $^6\text{Li}$ 原子のレーザー冷却技術を確立し、極低温RbLi分子生成を可能とするRbLi同時レーザー冷却および同時磁気トラップ装置の開発を本論文の研究テーマとした。

第3章に記述されているように、大坪氏はLi原子のレーザー冷却のためのレーザー光源システムを新たに構築し、その過程でこれまで前例のなかった $^6\text{Li}$ 原子の偏光分光をレーザー周波数安定化に応用した。 $^6\text{Li}$ 原子は励起状態の超微細構造が縮退しているため、円偏光ポンプ光によるスピン偏極が他のアルカリ原子に比べて起こり難く、ポンプ光によるスピン偏極および飽和効果の両方を考慮しなければ偏光分光信号を説明できないことを理

論計算および実験によって明らかにした。この成果は既に Optics Letters 誌に公表済である。また大坪氏は、 $6\text{Li}$  原子のゼーマン減速器の磁場設計には、上準位の超微細構造が縮退していることに起因する基底状態超微細構造間の光ポンピングの影響を考慮する必要があることを初めて実験的に明らかにした。この研究に関しては現在論文を準備中である。また大坪氏は  $\text{Li}$  原子および  $\text{Rb}$  原子の同時磁気トラップを可能にし、かつフェッシュバハ共鳴に必要な  $1100\text{G}$  の均一磁場も生成することができるコイルおよび電流制御システムを新たに開発した。

第4章で述べられているように、大坪氏が開発した装置により  $10^9$  個の  $\text{Rb}$ 、および  $10^8$  個の  $\text{Li}$  原子を同一のチャンバー内で同時に磁気トラップすることに成功した。これらの大原子数同時トラップは世界に例がなく、大坪氏の開発した装置の性能の高さを実証している。

なお、本論文の第3章の一部は、鳥井寿夫氏、青木貴稔氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および理論的考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって、本論文は博士（学術）の学位請求論文として合格と認められる。