

機関番号：12605

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2008～2010

課題番号：20684017

研究課題名(和文) 微小周期構造で起こす原子の共鳴遷移：光ではできない操作をめざして

研究課題名(英文) Resonance transitions of atoms using a microperiodic structure:  
Beyond optical manipulation methods

研究代表者

畠山 温 ( HATAKEYAMA ATSUSHI )

東京農工大学・大学院工学研究院・特任准教授

研究者番号：70345073

研究成果の概要(和文)：周期静磁場と原子との相互作用による共鳴遷移現象を研究した。速度約 500 m/s の原子ビームと、空中に約 1 mm の間隔で張った立体的な電流導線配列が作る磁気格子との相互作用により、コヒーレントなスピン操作を実現した。また、速度約 1 m/s の原子ビームと、周期約 4  $\mu\text{m}$  の周期で磁化した透明な磁性体表面とを、エバネッセント波の原子ミラーの影響下で相互作用させた。実験システムの開発は成功したが、共鳴の観測にはいたっていない。

研究成果の概要(英文)：We studied the resonance transitions of atoms interacting with a periodic magnetostatic field. We demonstrated the coherent spin manipulation by the interaction of an atomic beam (velocity:  $\sim 500$  m/s) with a magnetic lattice produced by an array of current-carrying wires (spacing:  $\sim 1$  mm). We also studied the interaction of an atomic beam (velocity:  $\sim 1$  m/s) with the periodically magnetized surface (period:  $\sim 4$   $\mu\text{m}$ ) of a transparent magnetic film under the influence of the evanescent wave atomic mirror. We completed the development of the experimental system, but we have not succeeded in measuring the resonance yet.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2009 年度	6,200,000	1,860,000	8,060,000
2010 年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
年度			
年度			
総計	19,500,000	5,850,000	25,350,000

研究分野：原子物理学

科研費の分科・細目：物理学・原子・分子・量子エレクトロニクス

キーワード：原子線，原子泉，磁気共鳴，レーザー冷却，磁性ガーネット，表面

## 1. 研究開始当初の背景

光(電磁波)と原子の共鳴的な相互作用に関しては、数多くの実験とそれに基づく美しい理論体系があり、応用範囲も広大である。一方、本研究で着目する周期構造体と原子の相互作用による共鳴遷移の研究はまったく白紙状態と言っても良い。申請者は、この共

鳴現象には電磁波による共鳴現象と異なる応用がありうると考え研究を進めてきた。共鳴遷移の最初のデモンストレーション実験は完了し、引き続き、実験的にはより困難な、細かい周期場による共鳴遷移や、周期場によるコヒーレントな原子状態制御の実験に取り組む段階にあった。

## 2. 研究の目的

本研究では、周期構造体と原子の相互作用による原子の内部状態の共鳴遷移現象を、特に低速原子と微小周期磁場構造を用いた実験を通じて研究する。よく体系化され膨大な応用のある光（電磁波）-原子相互作用による共鳴遷移現象との比較を念頭において基礎研究を進める一方、光ではできないような原子の制御技術の開発を目指す。具体的な目標として、

- (1) マイクロメートル程度の周期をもつ構造体と原子の相互作用による共鳴遷移を引き起こし、その際に起こる運動量変化の観測と、その運動状態制御への応用をめざす。
- (2) 電磁波と原子の共鳴現象の大きな特徴であるコヒーレントな原子状態操作を、周期構造物を使って引き起こすことをめざす。

の2つに主に取り組む。

## 3. 研究の方法

- (1) 運動量の変化を観測しやすくするため、レーザー冷却原子泉法により低速の原子ビームを作製する。それを表面がマイクロメートル程度の周期に磁化された透明な磁性体に相互作用させる。透明な磁性体の裏面からレーザーを入射し表面で全反射させ、そこで生じるエバネッセント波を使ったいわゆる「原子ミラー」により原子と表面の近接距離を調節して、原子の磁気共鳴遷移を良く制御しながら起こす。
- (2) 室温程度の速度の漏れ出し原子線ビームを、電流導線を周期的に配線して作ったいわゆる「磁気格子」に通し、コヒーレントな磁気共鳴遷移である「スピン章動」を引き起こす。

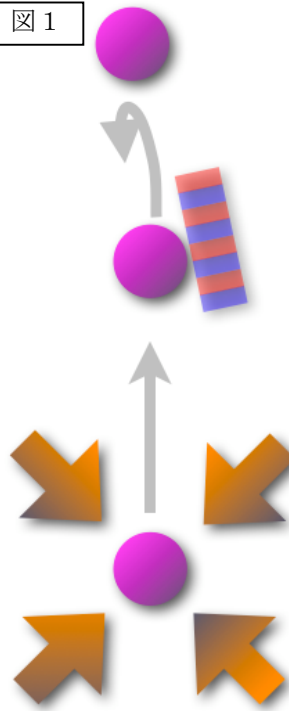
## 4. 研究成果

### (1)

低速の原子ビームを透明磁性体の周期磁化表面に相互作用させるための実験システムを構築した。そのシステムの概念図が図1に示してある。図下部でレーザー冷却により捕獲・冷却した原子集団を、原子泉法と呼ばれる方法で上部に打ち上げ、青と赤の周期構造物で示している透明磁性体表面に相互作用させる、というものである。

原子はレーザー冷却のしやすさからルビジウム原子を用いた。原子を重力で落下させてビームを作る方法もあり得るが、打ち上げを考えているのは、後の実験で励起に伴う運動

図 1

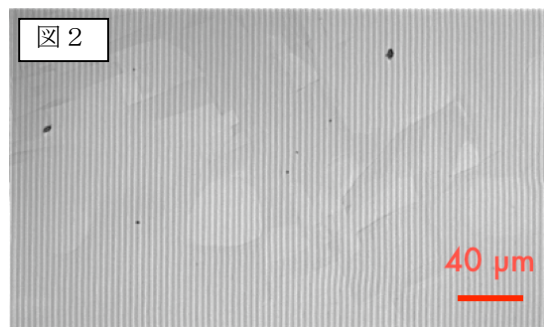


量の変化を原子団の空間的な位置の分離で見ることと考えており、十分な分離のために限られた移動距離で時間を十分確保したいからである。光学系や電子回路系、真空系を構築し、数 $\mu\text{K}$ まで冷却した原子集団を初速最大  $3\text{ m/s}$  で打ち出すことに成功した。

原子ビームの作製と並行して、原子ビームと相互作用させる周期磁性体の考案

と作製・評価も進めた。有力な候補として、光との組み合わせで原子ビームを制御することもできる透明磁性体を用いられないか検討を進めた。その結果、光通信波長領域で光アイソレータとして利用されている材質と同じ磁性ガーネット薄膜を用いると、周期がマイクロメートルオーダーの周期磁化パターンを透明な磁性体上に作製することができることを見いだした。下の図2が、その表面周期磁化を観察した磁気光学顕微鏡像である。磁化周期は約  $3.6\ \mu\text{m}$  である。

図 2



このようにして用意したレーザー冷却原子泉型低速原子ビームと、マイクロメートル程度の微小周期磁化パターンを持った透明磁性体薄膜とを相互作用させる実験を行った。ここで、透明磁性体薄膜表面に裏面からレーザーを入射して全反射を起こし、そこで生じるエバネッセント波を使った原子ミラー技術を用いて、原子と磁性体表面との近接距離を制御することを試みた。これは透明とはいえ、磁性体表面での光による初めての原子ミラー

の試みであったが、成功することができた。ただ、その時同時に起こすことを狙っていた原子の磁気共鳴遷移は観測することができなかった。表面近傍マイクロメートル程度で原子を操作することは、ある程度予想はしていたがそれほど容易ではなく、さらなる研究が必要である。

この困難を打開するための試みとして、光学用の回折格子を利用して作った表面周期磁場に漏れ出し原子ビームを相互作用させる実験と、固体表面への原子の吸着エネルギーを小さくし表面での非弾性衝突を抑える効果があると期待できるコーティングの研究とを行った。それぞれ着実に前進したが、マイクロメートルオーダーの周期磁場との相互作用による共鳴遷移を観測することにはつながらなかった。

(2)

上記実験と並行して、コヒーレントな共鳴遷移を起こす実験にも取り組んだ。ここでは、電流導線を周期的に立体的に配線して作った「磁気格子」を用いた。そこに、室温程度の速度（約 500 m/s）を持ったルビジウム原子ビームを通して、磁気共鳴実験を行った。

最初に作製したのは、周期的な配線がプリントされたプリント基板を、間隔を空けて積み上げたものである。この簡便な方法で、相互作用時間で原理的に決まる細さの磁気共鳴線を得ることに成功した。

しかしコヒーレントなスピン制御には、原子集団全体が同じ強さの振動磁場を感じるようにするにはいけない。上記の磁気格子ではプリント基板に近いところを通る原子は強い磁場を感じてしまう。このために新しいタイプの周期磁場発生装置の開発を行った。すなわち、多数の電流導線を空中に平行に張り渡す、ワイヤーチェンバー型荷電粒子検出器のような形の装置を作製し、それにより三次元的な周期磁場を作り出した。この磁気格子にビームを斜めに入射することによりすべての原子が同じ大きさの磁場を感じるようにすることができた。その結果、偏極ルビジウム原子集団のコヒーレントなスピン操作に成功した。下の図3はその実験装置の概略図である。また得

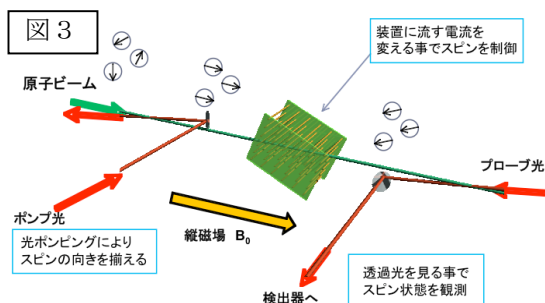
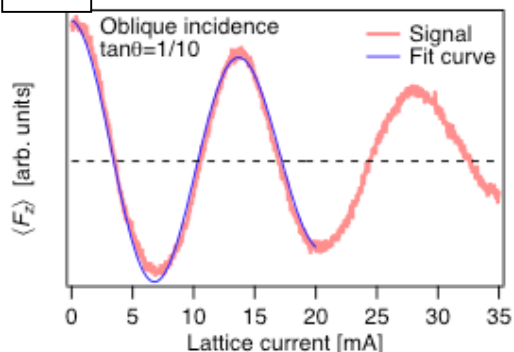


図4



られたコヒーレントなスピン共鳴信号を上図の図4のグラフに示した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

① Y. Kobayashi, Y. Shiraishi and A. Hatakeyama, Spin nutation induced by atomic motion in a magnetic lattice, *Physical Review A* 82, 063401-1-5 (2010) 査読あり

② Y. Kobayashi, A. Hatakeyama, Magnetic resonance of atoms passing through a magnetic lattice, *Journal of Physics: Conference Series* 185, 012021-(1-4) (2009) 査読あり

③ A. Hatakeyama, Velocity-selective sublevel resonance of atoms with an array of current-carrying wires, *Applied Physics B* 92, 615—621(2008) 査読あり

[学会発表] (計10件)

① 畠山温, 周期構造物による共鳴励起は冷却原子研究の新たなツールとなりうるか, 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会, 2010年12月18日, 上智大学セミナーハウス (長野県)

② 膳裕記, 石川陽平, 猪野智也, 高杉祐太, 畠山温, 周期磁化表面との相互作用による低速原子の磁気共鳴, 日本物理学会 2010年秋季大会, 2010年9月23日, 大阪府立大学 (大阪府)

③ A. Hatakeyama, Y. Kobayashi, and Y. Shiraishi, Spin nutation induced by atomic motion through a magnetic lattice, International Conference on Atomic Physics 2010, 2010年7月26日, ケアンズ (オーストラリア)

④小林佑輔, 畠山温, 磁気格子による Rb 原子ビームのスピンの制御, 日本物理学会 2009 年秋季大会, 2009 年 9 月 27 日, 熊本大学(熊本県)

⑤畠山温, 周期構造物を使った原子の新しい分光法・操作法, Fundamental Physics Using Atoms 研究会, 2009 年 8 月 5 日, 東京工業大学(東京都)

⑥猪野智也, 畠山温, 原子泉法による低速ルビジウム原子ビームの開発, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 30 日, 立教大学(東京)

⑦畠山温, 清澤亮太, 原子操作のための透明磁性体表面の磁化パターンとエバネッセント波, 日本物理学会第 64 回年次大会, 2009 年 3 月 30 日, 立教大学(東京)

⑧ Y. Kobayashi and A. Hatakeyama. Magnetic resonance of atoms passing through a magnetic lattice, The 8th Asian International Seminar on Atomic and Molecular Physics, 2008 年 11 月 26 日, パース(オーストラリア)

⑨小林佑輔, 畠山温, 磁気格子を横切る原子の磁気共鳴遷移, 日本物理学会 2008 年秋季大会, 2008 年 9 月 20 日, 岩手大学(岩手県)

⑩A. Hatakeyama, T. Ino, Y. Kobayashi, Motion-induced resonance: Toward a new atom manipulation technique using periodic structures, The 21st International Conference on Atomic Physics, 2008 年 7 月 31 日, ストアーズ(コネティカット州, アメリカ)

[図書] (計 0 件)

該当なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

該当なし

○取得状況 (計 0 件)

該当なし

[その他]

研究成果ホームページ

<http://amo.lab.tuat.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

畠山 温 (HATAKEYAMA ATSUSHI)  
東京農工大学・大学院工学研究院・特任准教授

研究者番号: 70345073

### (2) 研究分担者

該当なし

### (3) 連携研究者

該当なし