

準安定状態アルゴン原子のレーザー冷却・トラップの研究

その2 トラップ装置

量子物質工学科 0113007 飯塚直哉

[目的]

我々の研究室では冷却準安定状態アルゴン原子を用いて表面との相互作用の研究、また原子干渉計の開発を行なう予定である。そのための原子源として準安定状態アルゴン原子を磁気光学トラップ (MOT) を用いて大量にトラップする必要がある。本研究では MOT 生成の為の装置を構築することを目的とする。

[概要]

準安定状態アルゴン原子をトラップする為の手順

1. 放電によってアルゴン原子を基底状態から準安定状態に励起する。
2. 生成した準安定状態アルゴン原子のビームに正面から対向して共鳴レーザーを照射し、減速させる。この際ドップラーシフトが速度と共に変化し、原子と共鳴を保つことができなくなってしまうためゼーマンシフトを利用して常に共鳴を保ちながら原子を減速させる。
3. 減速した準安定状態アルゴン原子を MOT により捕捉する。

作成した実験装置の略図を図 1 に示す。ソース側チャンバーで放電管により準安定状態アルゴン原子を生成する。原子はその後ゼーマンコイル内を通りゼーマンシフトによってドップラーシフトを補償されながらレーザーによって減速され、トラップチャンバー内で MOT によりトラップされる。装置の全長はおよそ 2m でゼーマンコイルの長さは 75cm となっている。真空を保つため、また原子ビームをコリメートするため、それぞれ直径 1mm と 2.4mm のピンホールを 2 つ入れ、分けられた部屋を 3 台のターボポンプで差動排気を行っている。アルゴンガスを流す前の真空度はソース側チャンバーで 6.0×10^{-7} torr, トラップ側チャンバーで 7.0×10^{-9} torr を保っている。

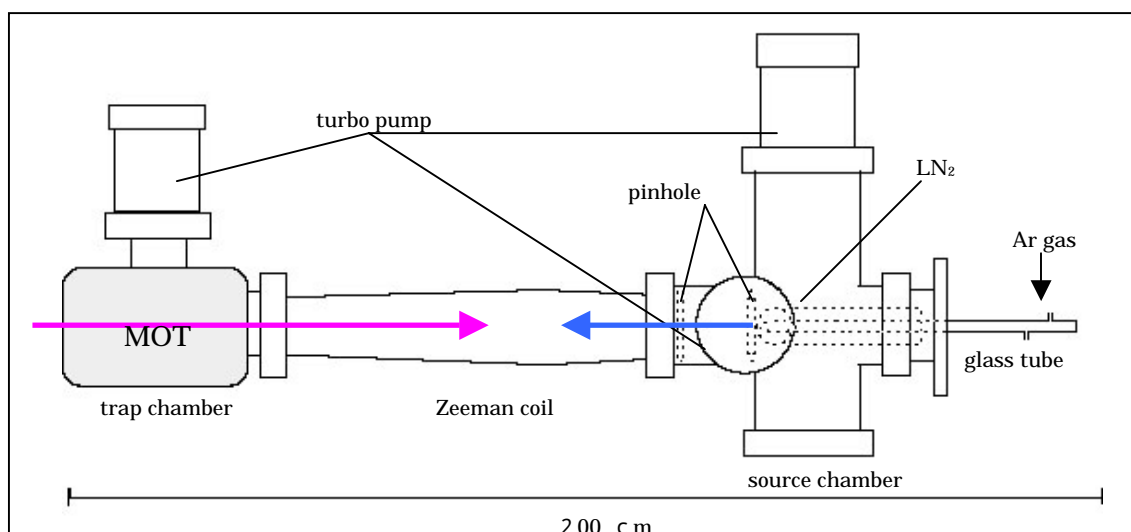


図1 トラップ装置概略図

・放電管

図2に放電管の略図を示す。ノズルにピンホールを付けた耐熱のガラス管に電極を入れたものを作成した。これを真空チャンバーに入れる液体窒素容器に差し込んである。これはノズル部分を液体窒素で冷却することで原子ビームの初速度を抑えるものである。ガラス管にアルゴンガスを流し、中の電極とガラス管の外の電極との間にマイナスの電圧をかけることで、放電によりアルゴンを準安定状態に励起して放出する。放電管内の圧力は図のような配置でピラニー真空計を用いて測定した。この際アルゴンガスの絶対圧を考慮し、ピラニー真空計の指示値を校正した。アルゴンガス流入時のソースチャンバーの真空度は 7.5×10^{-4} torr , トラップチャンバーの真空度は 1.1×10^{-7} torr であった。

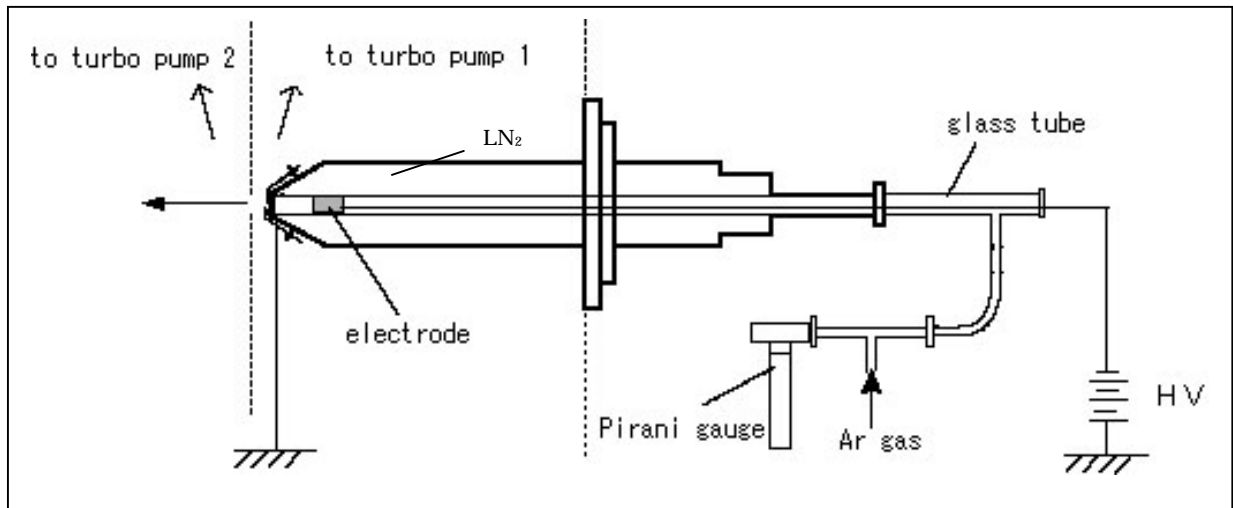


図2 放電管概略図

・磁気光学トラップ (Magneto optical trap :MOT)

MOTとはレーザーと磁場を用いて原子を冷却、トラップする方法である。標準的なMOTは図3のように互いに逆向きの電流を流した2つのコイル(反ヘルムホルツコイル)がつくる四重極磁場により原点に磁場のゼロ点をつくり、ここにx,y,z各軸上の両側から合計6本のレーザーを入射する。このレーザーはそれぞれ低周波数側に離調されており、対向する光線は逆まわりの円偏光のレーザーとなっている。原子が原点からずれると磁場が作用しゼーマン分裂が起こる。負に離調されたレーザーにより原子は原点に向かうレーザーを共鳴に近く感じるので原点に押し戻される力を感じる。反対の偏光の光線は原点から押しやる方向のものだが、これはゼーマンシフトにより共鳴から外れ

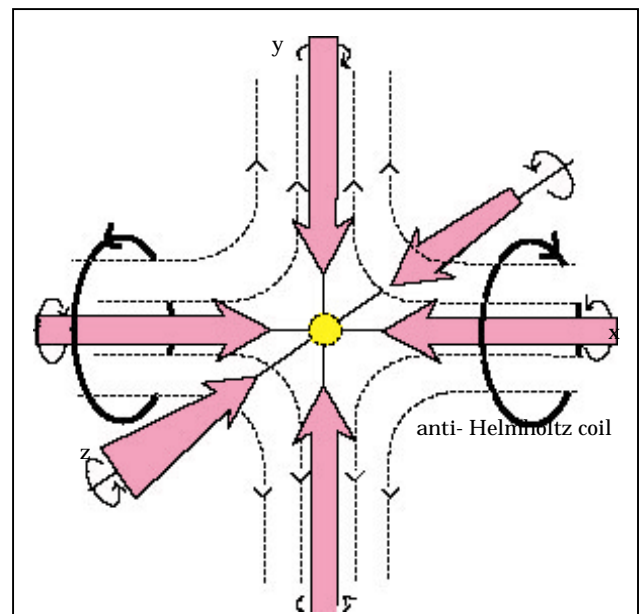


図3 6本ビームMOT

ている。よってこのとき原子は3次元的にどの方向にずれても原点への復元力を感じ、安定してトラップされる。

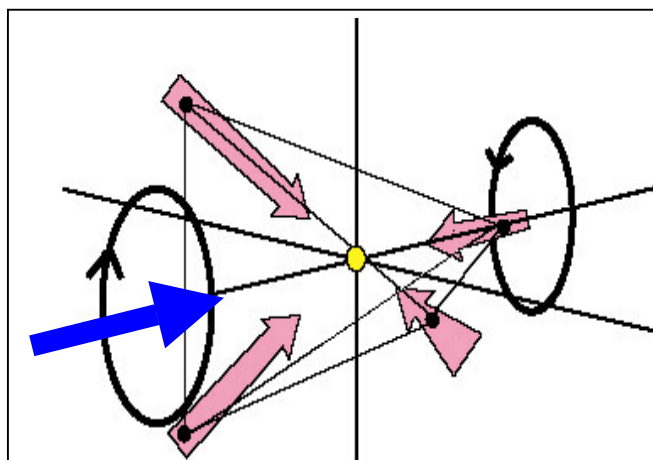


図4 4本ビーム MOT

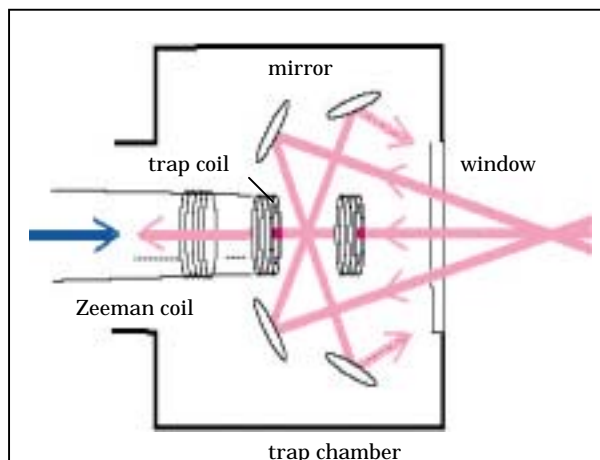


図5 MOT装置略図

この6本ビームの MOT と同一の原理を用いて、本実験では4本ビームの MOT を採用した。これは図4のように正四面体の各頂点から重心に向かって4本のレーザーを入射するもので、そのうちの1本を原子ビームと対向に配置し減速用レーザーを兼ねさせている。実際の装置は図5のようにトラップチャンバーの窓からビームを入射する。1本は真っ直ぐ原子ビームに対向して入射し、残り3本はチャンバー内のミラーに反射させトラップコイルの中心を通るようにした。また真空チャンバーの内壁で反射させないために、中心を通ったレーザーをさらにミラーで反射させ装置の外に出て行くように調整した。

[測定]

micro-channel-plate (MCP) を用いて原子ビームの測定を行った。図6に示すようにトラップチャンバー内の原子ビームが当たる正面の窓に MCP を取り付けた。放電管から放出される粒子には準安定状態アルゴン原子の他、イオンや電子が存在する。準安定状態アルゴンのみを MCP で検出するためにアルミの筒を設置しマイナスの電圧をかけることでイオンや電子を取り除くようにした。

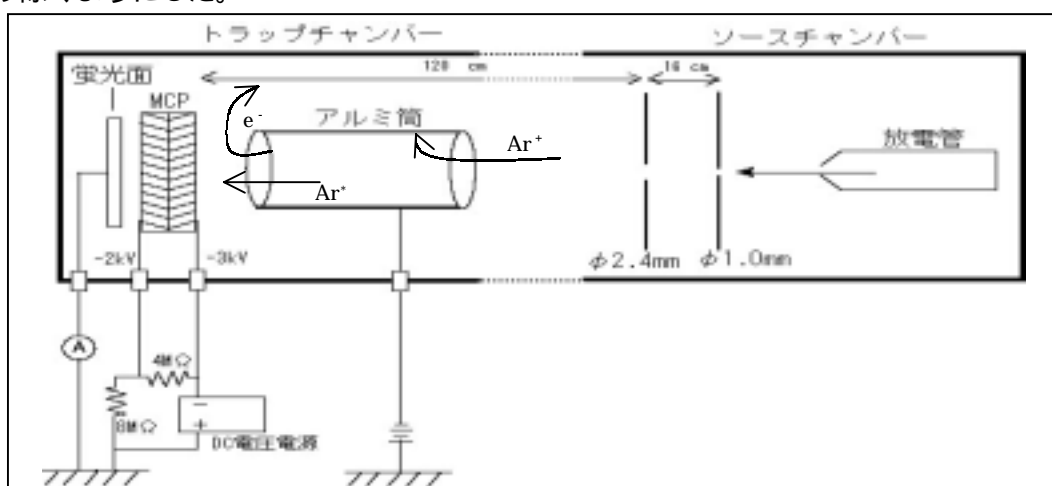


図6 原子ビーム測定装置概略図

MCP には図のように電圧をかけ、蛍光面から流れる電流をピコアンメーターを用いて測定した。このような状態で放電管内の圧力、放電管に流す電流をそれぞれ変化させ MCP の検出電流を測定した。図 7 にその結果を示す。

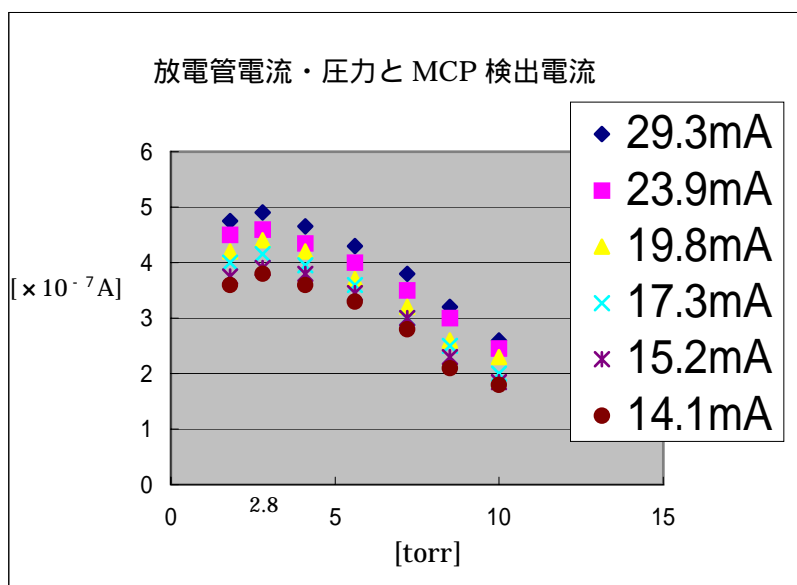


図 7 MCP を用いた原子ビームの測定

グラフから分かるように放電管内圧力が 2.8 torr のとき、また放電管に流す電流は Max の 29.3 mA のとき、MCP 検出電流は最大となり $0.49 \mu\text{A}$ であった。

MCP の利得が 10^4 であることを考慮するとこの値から 1 秒間におよそ 3×10^8 個の準安定状態アルゴン原子が飛来していることが見積もれた。

ソースチャンバーで原子ビームに横から垂直に共鳴レーザーを照射したところ MCP 検出電流が $0.02 \mu\text{A}$ 減少した。このことから必要とする準安定状態アルゴン原子が放電により生成されトラップチャンバーにまで到達していることが確認できた。

[結果とまとめ]

準安定状態アルゴン原子を冷却し磁気光学トラップにより捕捉するための装置を構築した。

MCP 検出器を用いて、MOT 生成のために十分な数の準安定状態アルゴン原子がトラップチャンバーに到達していることを確認した。

[今後の課題]

放電管から飛来する準安定状態アルゴン原子の速度分布など原子ビームのさらなる測定が必要である。

放電時のトラップチャンバーの真空度 (現在 1.1×10^{-7} torr) の向上のためディフレクターを設置する必要がある。

今回、レーザーの強度が十分ではなかった為 MOT 生成を試みるには至らなかった。よって十分な強度を持つレーザー、また複数台のレーザーを作成する必要がある。