波長 420nm での拡散レーザー冷却に向けた拡散材の反射特性評価

岸本研究室 1810251 小林大朔

1. 研究背景

冷却原子を用いた 種々の研究が行われて いるが,原子時計開発 の分野において磁気光 学トラップ(MOT)に 代わる原子の冷却手段



として拡散レーザー冷却(DLC)が検討されている. MOT では入射レーザー光の強度と偏光のバラ ンス調整が必要となるが, DLC は, そのような細かな調整を必要としない. DLC とは, 冷却空間内 に均一な光モラセス状態を生成することでドップラー冷却を行うことができるものである.⁸⁷Rb原 子の冷却では一般に波長 780nm が用いられるが,本研究では波長 420nm での拡散レーザー冷却を 目指す. 波長 420nm では,より低温にできる,より高密度にできる,原子の供給手段として光誘起 原子脱離を用いることができるといったメリットがある.

2. 目的

拡散レーザー冷却において重要になるのは,コーティングに用いる拡散材によって空間内の均一 な光モラセス状態を生成することである.そのためには,拡散材において図2のように等方的な拡 散,高い反射率,偏光がランダムであることが必要になる.しかし,多くの拡散反射材では図3のよ

うな部分的な拡散反射をす る.このため本研究では,拡 散光の角度依存性,拡散反 射率,偏光の測定を行った. なお,用いる拡散材につい ては,短波長になるほど拡 散反射率が低下することが わかっているため,冷却波 長よりも短い波長である 405nmでの測定を行った.



3. 拡散材の選択

拡散反射をする物質はいくつがあるが、その多くは 400nm 帯のような短波長で反射率の低下が著 しいものが多い.本研究では、短波長でも反射率を維持する、加工しやすい、取り扱いが容易である といった観点から図 4.PTFE 拡散シートおよび図 5.石こうを測定に用いる拡散材として選択した.





図 4.PTFE 拡散シート



石こうは、実際の冷却を行う真空ガラスセルを想定し、ガ ラス面に塗布を行っている。ガラス面に面していた側は、右 の図6のように表面が図5のものに比べフラットになってい ることが分かる。冷却の際にはこの面が内側になり拡散反射 を起こすことになるため、この面の測定も行った。



図 6.ガラス面から剥離した石こう

4. 拡散光の角度依存性

測定は、図7のような光学系 を用いた.45°方向から拡散材 に対して波長405nmのレーザー 光を入射し、反射した拡散光が スクリーンに映る様子をカメラ で撮影した.広い範囲の拡散光 をカメラで撮影する際に、左下 斜めから広角で撮影を行うこと による顕著な台形ゆがみの補正



をするため図 8 のように MATLAB 上で線形変換を行った.変換はスクリーン上にあらかじめ記した4点を基準に行い,その4点の実際の長さより1pixel 当たりのスクリーン上の長さを指定した.



図 8.画像の線形変換

図 9 は,線形変換後の拡散光のスクリーン上で の強度分布である.線形変換後の強度分布をカラ ーバーで示している.基準点からの距離 X よりそ の位置での角度を求め,その角度での強度を示し たものが図 10,図 11,図 12 である.原点からの 距離がその角度における強度を示している.



図 9.拡散光の強度分布と角度の導出方法



理想的な拡散反射では、どの方向から入射しようとも強度最大の1/e²となる角度は片側 75°,全体で 150°となる.それと比較すると今回用いた試料では、75%程度の角度拡がりを持つことが分かった.また、図 9 のガラス面から剥離した石こうに関して、正反射方向に顕著な強度分布が見られるが、その成分は拡散光全体のパワーに対して 0.03%程度である.冷却空間内では拡散材の高い反射率により複数回反射することになるためその影響は小さいと考えることができる.

5. 拡散反射率

拡散反射率の算出では,図7の強度分布を 用いた,まず

画像内全体の強度 画像内の基準点での3mm×3mmの正方形内の強度 の比を 求めた.次に.正方形の同じ位置,同じ面積で パワーメータを用いて測定を行い,先の比よ り拡散光全体のパワーを算出した.そして入 射レーザー光のパワーとの比より拡散反射率 を求めた.

衣 1. 払取及射 半側 と 栢 禾	表	1.拡散反射率測定結果
--------------------	---	-------------

	拡散反射率[%]	パワーが半分になるまで の反射回数の見積もり			
拡散シート	93±4	約10回			
石こう	96±4	約17回			
ガラス面から剥離した石こう	89±4	約6回			

拡散光の偏光

拡散光の偏光の測定 では,図6の光学系に て,入射するレーザー光 を直線偏光とした.その うえで「入射した直線偏 光と平行である拡散光 の偏光成分」と「入射偏 光と直交する拡散光の 偏光成分 | の割合を求め た. 図 13 は, スクリー



図13.直線偏光入射に対する拡散光の偏光測定結果

ン上の各成分の強度の様子である. 拡散反射では, 図 14 のよ うに表面による反射成分と層内による反射成分が存在する.表 面の反射成分は入射偏光と同じ偏光を反射するが,層内の反射 成分は入射する偏光によらずランダムな偏光を反射すること が分かっている[2]. 測定では、拡散反射材の代わりにミラー を置いた測定も行いワイヤーグリッドの消光比を見積もった うえで、拡散反射材の表面成分と層内成分を表2のように求



図 14.拡散反射の境界面の様子[2]

めた.

表 2. 偏光測定から算出した反射成分の割合

	拡散シート	石こう	ガラス面から剥離 した石こう
表面反射成分 の割合	4%	2%	14%
層内反射成分 の割合	96%	98%	86%

7. まとめと今後の展望

本研究では、波長 420nm での拡散レーザー冷却に向け、均一な光を生成するうえで重要になる拡 散材の評価を行った.拡散光の強度の角度依存性では,理想的な拡散反射と比較して 75%程度の角 度拡がりを確認し、どの角度方向にどの程度の強度があるかを確認した.拡散反射率の測定では、 90%程度の反射率であることを確認した. 偏光の測定では, 層内の反射 9 割近くで支配的であるこ とを確認した. 今後は、今回の測定データをもとに適切な冷却セルの検討、冷却光の入射角度の検 討,冷却を行う空間内の光の均一性の定量的な見積もりを進めていく.

参考文献

[1] J.-Y. Wan et al. Ouasi-one-dimensional diffuse laser cooling of atoms. Physical Review A,105,033110 (2022) [2] 松浦,上谷. 建築材料の偏光を用いた反射指向特性の測定. 日本建築学会計画系論文報告集,388 (1988)