

ふく射再吸収によるヘリウム原子 2^3S - 2^3P 発光線形状の変化を利用した
ヘリウム 2^3S 準安定原子密度計測

Measurement of the helium 2^3S metastable atom density by observation of the change in the 2^3S - 2^3P emission line shape due to radiation reabsorption

四竈 泰一, 大金 修平, 飯田 洋平^{a)}, 蓮尾 昌裕
Taiichi Shikama, Shuhei Ogane, Yohei Iida, Masahiro Hasuo

京都大学大学院工学研究科, ^{a)}分光計器
Graduate School of Engineering, Kyoto University, ^{a)}Bunkokeiki

ヘリウム 2^3S 準安定原子は大きな励起エネルギーと長い寿命を持つため、ペニング電離や二次電子放出を介して放電プラズマの生成・維持に寄与している。プラズマ中で 2^3S 原子が果たす役割を解明し、制御するためには、その密度を定量化することが必要となる。密度計測には 2^3S - 2^3P 遷移（波長1083 nm）が利用され、古くは自己吸収分光法が、近年では半導体レーザ吸収分光法やレーザ誘起蛍光法が標準的な手法として採用されている。本研究では受動分光法を用いた新たな計測法[1, 2]について報告する。

2^3S - 2^3P 発光線は、自然放出係数が等しく吸収の振動子強度が異なる3本の微細構造から構成される（表）。プラズマ中で発光の再吸収（ふく射再吸収）が起こる場合、観測される発光線形状は 2^3S ・ 2^3P 原子密度の空間分布形状、発光・吸収の線形状、光学深さの関数となる。光学深さ以外を適切に仮定し、発光線形状から光学深さを求めることで 2^3S 原子密度を推定できる。

原子密度・温度の空間分布に関する仮定が計測値に与える誤差を見積もった結果、各々最大200%、10%程度であることが分かった。ただし、誤差は適切な仮定をおくことで低減できる。また、0.5 T以上の外部磁場が存在する場合に吸収が約60%まで減少することが明らかになった。

表. 2^3S - 2^3P 遷移の波長 λ , 自然放出係数 A , 吸収の振動子強度 f .

遷移	λ (nm)	A ($\times 10^7$ s $^{-1}$)	f ($\times 10^{-1}$)
2^3S_1 - 2^3P_0	1082.909	1.0216	0.59902
2^3S_1 - 2^3P_1	1083.025	1.0216	1.7974
2^3S_1 - 2^3P_2	1083.034	1.0216	2.9958

本手法の適用可能性を実験により検証した。直流グロー放電管からの発光を近赤外分光器（装置幅17.5 pm）[3]により計測した。圧力501 Pa, 磁場強度0, 497 mTの場合の発光線形状を図に示す。発光線形状の計算時には、縮退がある場合の摂動法を用いて磁気副準位間の遷移エネルギー、自然放出係数、吸収の振動子強度を求めた。また、発光・吸収の線幅は空間一様でドップラー広がり計測値に等しいとし、密度の空間分布形状はゼロ次のベッセル関数を仮定した。図中の実線はフィッティング結果、 τ_{10} はプラズマ中心における量を用いて定義した 2^3S_1 - 2^3P_0 遷移の光学深さ、 T は原子温度を表す。光学深さから求まるプラズマ中心の 2^3S 原子密度は 10^{17} - 10^{18} m $^{-3}$ のオーダーであり、密度計測の先行研究において類似の放電で得られている値と同程度となった。

- [1] T. Shikama, *et al.*, *JJAP* **53**, 086101 (2014).
[2] T. Shikama, *et al.*, submitted to *JPD*.
[3] S. Ogane, T. Shikama, *et al.*, *RSI* **86**, 103507 (2015).

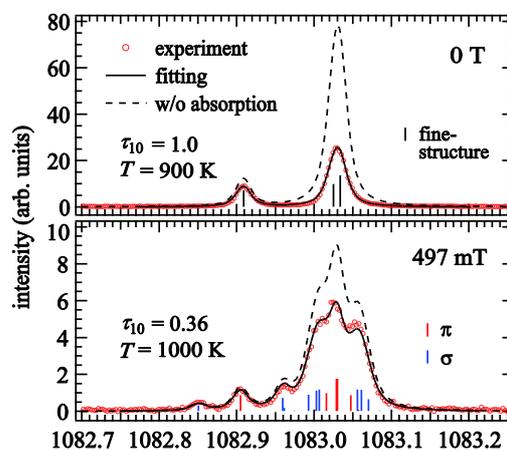


図. 発光線形状の計測値と計算値.