

準安定励起ヘリウム原子を用いた光ポンピング磁気センサの原子密度計測及び磁場感受性に関する検討

Measurement of the density of helium metastable atoms and investigation of magnetic field susceptibility in helium-4 optically pumped magnetometers

京大院工 ○(M2) 日高 颯哉, 豊田みなみ, 占部 継一郎, 伊藤 陽介
Kyoto Univ., Soya Hidaka, Minami Toyoda, Keiichiro Urabe, Yosuke Ito
E-mail: hidaka.soya.34a@st.kyoto-u.ac.jp

【背景・目的】

生体磁場計測は、脳をはじめとした生体機能の解明に寄与し、医療やリハビリテーションへの応用が期待される分野である。光ポンピング磁気センサ(Optically pumped magnetometer: OPM)は、電子のスピン偏極を用いたセンサであり、生体磁場計測が可能である。He プラズマを利用した準安定励起ヘリウム(He*)OPMは室温計測が可能であり、その利便性から製品化の動きもみられる^[1]。本研究では、He*OPMの最適な動作条件の模索を通じて磁場計測精度向上に寄与することを目的とし、放電時におけるガラスセル内のHe*の密度計測を行った。また、He*OPMの磁場への感受性に関する検討を行った。

【原理】

He*OPMの原理を説明する。まず、He ガスを放電させることで、He*を発生させる。次に 2^3S と 2^3P の準位間において、円偏光のポンプ光による励起および脱励起過程により、スピンの偏極を起こす。そこに計測対象磁場が印加されると、スピン偏極による巨視的磁化が回転する。直線偏光のプロブ光を入射すると、その偏光面が磁気光学効果により回転し、偏光面の回転角を計測することにより磁気計測が可能になる。

He*の密度測定は吸光測定により行う。波長1083 nm程度の直線偏光のレーザー光をガラスセルに入射させると、 $2^3S - 2^3P$ 間の遷移により光が吸収される。He の 2^3S と 2^3P の準位間には D0、D1、D2 遷移波長が存在し、それぞれスペクトル広がりを持って観測される。スペクトル広がりには、圧力広がりやドップラー広がりなどがあるが、ガス圧が比較的高い場合は圧力広がりが支配的となるため、ローレンツ型の吸光特性から密度の計算を行うことができる。

【方法】

He を 1×10^4 Pa 封入した内径1 cm、長さ3 cmの円筒ガラスセルに、電極間距離1 cmとなるように電極を巻いた。電極間にバイポーラパルス電圧(4 kV, 5 kHz)を印加し、誘電体バリア放電によりHe*を発生させた。電極間にレーザー光を入射し、透過光をフォトディテクタ(Photodetector: PD)で電圧に変換した。放電電圧印加直後と一定時間後のPD出力の比のプロットから得られたグラフをもとに圧力幅を求めた。得られた圧力幅より、準安定励起ヘリウム原子の密度計算を行った。

【結果】

得られた He セルの吸光特性を Fig. 1 に示す。He の D0、D1 及び D2 波長付近で吸光が確認できた。特に吸光の大きかった D2 波長で圧力幅を求めると1.683 GHzとなり(Fig. 2)、He*の密度は $3.76 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ と求められた。

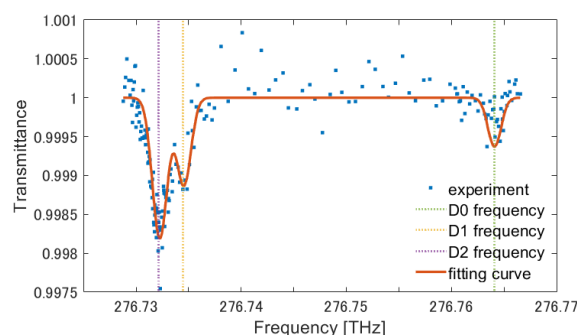
この値は、従来のアルカリ金属 OPM と比べて、5桁から6桁ほど小さい値であり^[2]、セル中に不純物として含まれる酸素や窒素がHe*をクエンチしていると考えられる。磁場応答信号はHe*密度に比例するため、この放電セルは高感度な磁場計測に適さない可能性がある。

【まとめ】

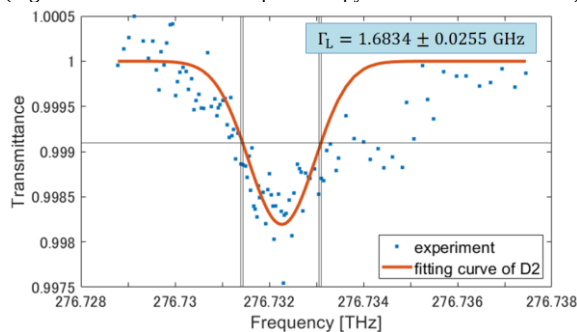
放電時のHe*の密度は $3.76 \times 10^{14} \text{ m}^{-3}$ と求められ、不純物の混入を極力抑えることで密度の向上が期待される。発表ではHe*OPMの磁場感受性に関する検討についても報告する。

【謝辞】

本研究の一部は、JSPS 科研費 21H03807 の助成を受けたものである。



(Fig.1: Laser transmittance spectroscopy of the 10^4 Pa He cell)



(Fig.2: Full width at half maximum of D2 fitting curve)

[1] W. Fourcault, *et al.*, Opt. Express **29**, 14467-14475 (2021)

[2] Y. Ito, *et al.*, AIP Advances **2** 032127 (2012).