

レーザー駆動中性子源のための重水素ターゲットスピン偏極システムの開発 The development of spin polarized Deuterium target system for laser-driven neutron source

西畑穰¹, 有川安信¹, 坂田匠平¹, Lee Seung Ho¹, 松尾一輝¹, Law King Fai Farley¹, 森田大樹¹, Liu Chang¹, Li Huan¹, 安部勇輝¹, 余語覚文¹, 中井光男¹, 兒玉了祐¹, 藤岡慎介¹
Joe Nishibata, Arikawa Ysunobu, Sakata Syohei, Lee Seung Ho, Matsuo Kazuki, et al.,

1)大阪大学レーザー科学研究所

1)Institute of Laser Engineering, Osaka University

中性子は、物性研究、核セキュリティ、非破壊検査、医療などの様々な分野で応用されている。これまでの加速器ベースの中性子源では中性子発生のビームが大きな広がり角を持つ(100度程度)ため、利用効率が悪いことが課題となっていた。それを解決するために我々が着目したのは、スピン偏極重水素ターゲットの光核反応である。この手法では従来に比べて格段に指向性が高い(理論上は1度程度)中性子発生が予測されており、実現が期待されている。

重水素をスピン偏極させる手法として、トリプレット光励起を用いた動的核スピン偏極法によって、常温と比較的低い磁場で高いスピン偏極率が得られる手法を用いる⁽¹⁻²⁾。1mm 立方体サイズの重水素化有機結晶(pentacen をドープした p-terphenyl)に対し、0.4T 程度の磁場中でレーザーを当てて光励起させて、トリプレット励起状態にし、電子スピンの揃った状態を作る。その後、電子スピンから重水素の核スピンのエネルギー差に相当する外部電波を当てて、スピンスピン相互作用によって、最終的に電子スピンを核スピンへ移す。この操作を一定時間繰り返し施工することで偏極率を高める。50%以上の偏極率を得るためには、光源の最適化が最も重要であり、そのためには次の3つの条件が求められる。光励起の波長が pentacen の吸収ピークに一致していること($\lambda=590\text{nm}$ 付近)、レーザーエネルギーが十分に高いこと(>2mJ)、パルス幅がトリプレット順位の寿命程度である(1 μs ~10 μs 程度)であること、高繰り返し(~1kHz)が可能であること、である。

従来はフラッシュランプを励起源に用いた Rhodamin 色素レーザーが用いられていたが、装置が大きくなり、またパルス幅を 1 μs まで伸ばすのが困難であった。また高繰り返しでの長時間運転に不向きであった。レーザー駆動中性

子源用ターゲットとして、このスピン偏極重水素偏極システムを用いるためには、励起用光源は 50cm 立方体程度のコンパクトな装置で、安定に出力する装置であることが必要である。そこで、我々は従来の色素レーザー装置に代わる、ダイオードをベースにした小型で高効率なレーザー装置を開発している。

レーザー装置の構成を図1に示す。シード光として、ダイオードポンプ固体発振の波長 593.5nm, 2 $\mu\text{J}/\text{pulse}$, パルス幅 10 μs , 周波数 50Hz~1kHz 可変の光源を用いた。増幅装置として、3mol%の EuCl₃水溶液と、ポンプ光 200mJ, 波長 380nm, パルス幅 1ms の LED 光源を用いた。Eu³⁺を励起し、そこにシード光を入射して 100 往復させて、利得は 1000, 出力 2mJ を得る設計である。この設計では、シード光にダイオードポンプ固体発振レーザーを用い、増幅機のポンプ光も LED を用いているため、フラッシュランプが不要になり、装置全体が 50cm 立方体程度コンパクトになった。またパルス幅は可変、繰り返しは 50Hz~1kHz までの可変となり、光源最適化に必要な諸条件を満たした。

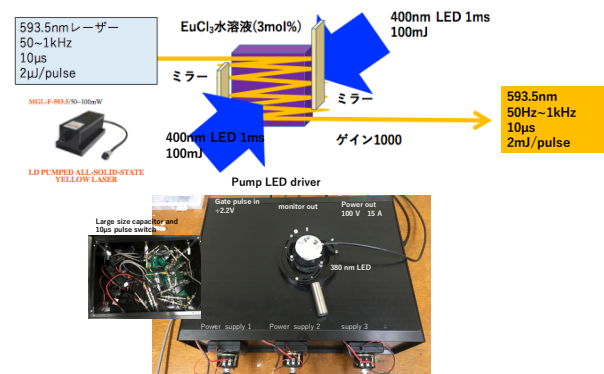


図1 スピン偏極重水素励起用レーザー構成図
(1) K. Tateishi, et al., Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 111, 7527-7530, (2014)

(2) M. Iinuma, et al., Journal of Magnetic Resonance 175 (2005) 235-241