

超蛍光による脱励起過程の選択的制御

(理研・XFEL¹, 岡山大極限量子研究コア², 岡山大自然³, 原子力機構⁴, 分子研⁵)
 永園 充¹, 中嶋 享², 久間 晋^{1,2}, 宮本 祐樹^{1,3}, James R. Harries^{1,4}, 岩山 洋士^{1,5},
 石川 哲也¹, 笹尾 登^{1,2}, 繁政 英治^{1,5}

Selective control of decay channels utilizing superfluorescence

(RIKEN XFEL¹, Okayama Univ. XQW², Okayama Univ. Sci.³, JAEA⁴, IMS⁵)
 Mitsuru Nagasono¹, Ryo Nakajima², Susumu Kuma^{1,2}, Yuki Miyamoto^{1,3}, James R. Harries^{1,4},
 Hiroshi Iwayama^{1,5}, Tetsuya Ishikawa¹, Noboru Sasao^{1,2}, Eiji Shigemasa^{1,5}

【序】 我々は SCSS 試験加速器施設において、高強度な極端紫外領域 (EUV) の FEL 光をヘリウム原子 (気体) に照射し、量子光学効果の 1 つ「超蛍光」の観測に世界に先駆けて成功した [1]。「超蛍光」とは、励起状態にある原子が、協調的な自発放射 (蛍光放出) を起こす過程である。この現象は、励起原子間の距離が、放出する光 (蛍光) の波長よりも短い場合に起こる。「超蛍光」は、(1) 超蛍光パルスのピーク強度は励起原子数 (N) の 2 乗に比例、(2) 超蛍光のパルス幅は N に反比例、(3) 励起光から超蛍光パルスの発生までの遅延時間は N に反比例、という特徴を持ち、また、レーザー光のようにコヒーレント性と指向性を併せ持つ。これらの特徴は、自然放射強度や放射波長など遷移固有の性質、および励起原子密度や励起領域長などの実験条件に依存することが理論的に予測されている。本研究では、超蛍光の原理に基づいて、励起原子の密度を変化させることにより脱励起過程から任意の 1 つ (あるいは複数) の過程を選択制御することを試みた。

【実験】 SCSS 試験加速器からの EUV-FEL 光 (パルス幅 100fs、繰り返し周期 30 Hz) を用いて実験を行った。FEL 光の波長は、 $1s1s \rightarrow 1s3p$ 共鳴励起エネルギーに相当する 53.7 nm を用いた。水平偏光した FEL 光は、楕円筒鏡と円筒鏡で構成される前置集光系を用いて、ガスセル中 (セル長 4 mm、ビーム軸の両端に $\phi 2$ mm のアパーチャー) の高濃度 He ガスに照射される。その際に発生する可視領域の光について、光強度の時間発展を調べた。高濃度 He ガスを、パルスバルブを用いてガスセル中に導入し、ガス密度をパルスバルブの排圧と開閉時間により調整した。FEL 光強度 (W/cm^2) の調整は、集光ビーム軸上でのガスセルの位置を変えることにより行っ

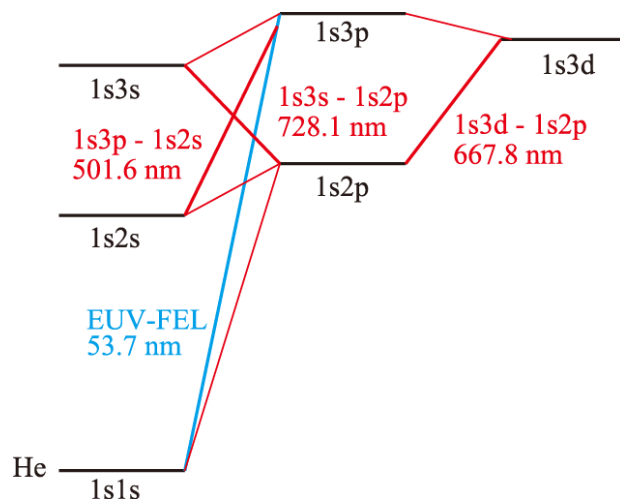


図1 He のエネルギーレベル

た。FEL 光の全光量及び He1s3p 共鳴波長の相対光量を、Ar イオン検出器と He 準安定状態検出器によりそれぞれ計測した。超蛍光は、ビームスプリッターとバンドパスフィルターにより 3つの波長領域を分光され、それぞれを高速 PD とオシロスコープ、あるいはストリークカメラを用いて shot 毎に計測した。ここで 3 波長は、He1s3p 励起後の脱励起過程の内、可視光領域に遷移波長がある 501.6 nm (1s3p→1s2s) , 728.1 nm (1s3s→1s2p) , 667.8 nm (1s3d→1s2p) であった。

【結果と考察】 分光した 3 波長領域全てについて、指向性のあるパルス発光が、通常の蛍光寿命よりも短い時間領域において観測された。これらの特徴は、超蛍光を示唆している。図 2 に、He ガス濃度一定の条件下において、3 波長の光強度成分比の入射 EUV-FEL 光強度依存性を示す。同一励起状態からの通常の蛍光過程においては、競合する脱励起過程の蛍光成分比は、蛍光寿命（緩和速度）の比率で決まる。しかし、超蛍光過程では、競合する蛍光成分比は、励起原子密度に依存することが予測される。すなわち、3 つの超蛍光の光強度比の変化は、入射光強度に依存して励起原子密度が変わり、超蛍光による脱励起速度が変化（脱励起過程の分岐比が変化）した結果であると考えられる。また、光強度一定の条件下においては、蛍光強度成分比の He ガス濃度依存性も観測された。この結果も、励起原子密度による脱励起速度の変化に帰結される。これらの結果は、超蛍光による脱励起過程が、光強度およびガス濃度を変えることによって制御できることを示唆している。

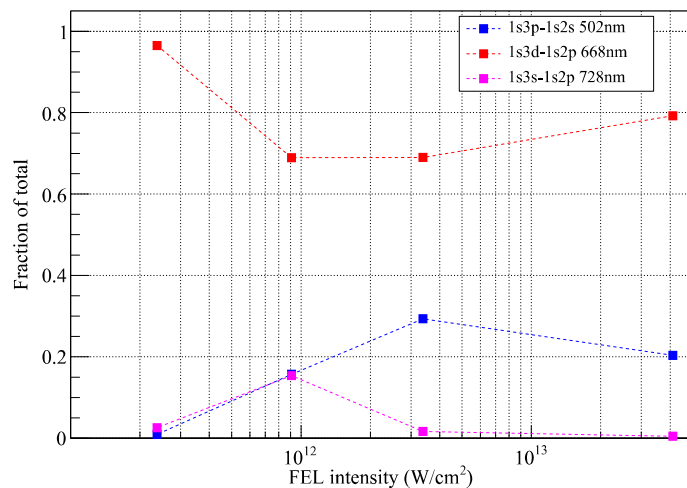


図 2 超蛍光成分比の FEL 光（励起光）強度依存性

【参考文献】

[1] M. Nagasono *et al.*, Phys. Rev. Lett. 107, 193603 (2011).