

～UVSORにおけるガンマ線源の開発と利用～

大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

分子科学研究所 極端紫外光研究施設

准教授

平 義隆

分子科学研究所の放射光施設である極端紫外光研究施設 UVSOR では、エネルギー750 MeV の高エネルギー電子ビームにレーザーを衝突することで発生するガンマ線源の開発と利用研究が行われている。この手法は逆コンプトン(逆トムソン)散乱やレーザーコンプトン散乱と呼ばれており、発生するガンマ線はエネルギー連続可変かつ準単色、高偏光といった制動放射ガンマ線や放射性同位元素から発生するガンマ線と比べて優れた特徴を有する。このガンマ線源の開発と利用研究は世界のいくつかの電子加速器施設において行われている[1-3]。UVSOR では主に2種類のガンマ線を定常的に発生している。1つ目は波長 1.95 μm のレーザーを用いて発生できる 5.5 MeV 連続ガンマ線である。このレーザーは、原子核物理実験のために京都大学のグループが持ち込んだものである[4]。2つ目は、波長 800 nm の Ti:Sa レーザーを用いた 6.6 MeV 超短パルスガンマ線である。このガンマ線を用いて、ガンマ線誘起陽電子消滅分光法や偏光検出型検出器の応答評価などが行われている。5.5 MeV ガンマ線発生時はレーザーを電子ビームの正面方向から入射し、6.6 MeV ガンマ線発生時はレーザーを 90 度方向から入射している。UVSOR の電子蓄積リングを周回する電子ビームは、進行方向 200 mm、垂直方向 0.05 mm、水平方向 1 mm 程度の大きさである。進行方向に対する横方向の大きさが 1/100~1/1000 以下の極端に扁平な形状をしている。この特徴を利用し、超短パルスレーザーを 90 度方向から入射することで電子ビームとレーザーの相互作用時間が短くなり、パルス幅サブピコ秒からピコ秒領域の超短パルスガンマ線を発生する事が可能となる。

6.6 MeV のガンマ線を試料に照射すると、試料内部で対生成により電子と陽電子対が発生する。陽電子は、試料内部でエネルギーを失い熱化すると格子間位置や欠陥に捕獲されて電子と対消滅する。その際にほとんどの場合2つの消滅ガンマ線を

ほぼ 180 度方向に同時に放出する。消滅ガンマ線のエネルギー分布や放出時間分布は、欠陥に関する情報を反映するため、消滅ガンマ線を測定することで試料内部の欠陥分析を行う事ができる。ガンマ線を試料に照射する方法は、ガンマ線誘起陽電子消滅分光法(GiPAS)と呼ばれる。放射性同位元素から発生する陽電子を用いた従来の陽電子消滅分光法と比べて GiPAS は、厚さ数 cm のバルク試料の測定が可能である。また、従来法では陽電子は試料だけでなく線源の密封材でも消滅するために試料由来のみの消滅ガンマ線を測定することが困難であるが、GiPAS では試料の内部から陽電子が発生するため試料由来のみの消滅ガンマ線を測定することが可能である。また、従来法ではランダムに発生する陽電子を試料に照射しているが、GiPAS ではレーザーによってその発生を完全に制御されたガンマ線を用いているため、時間分解能とシグナルノイズ比の高い測定が可能である。

UVSOR では、ガンマ線誘起陽電子消滅寿命測定法やガンマ線誘起同時計数ドップラー広がり測定法、ガンマ線誘起寿命運動量相関測定法[5]、円偏光ガンマ線誘起スピン偏極陽電子消滅分光法の開発を行っている。寿命測定法はユーザー利用が行われており、応力負荷時の金属材料の欠陥形成のその場測定に加えて、鉄系材料、触媒材料、シンチレータなどのバルク試料の測定が行われている。

本セミナーでは、超短パルスガンマ線の特徴及び GiPAS の概要について発表する。

[1] H. R. Weller et al., *Prog. Part. Nucl. Phys.* **62** (2009) 257.

[2] S. Amano et al., *Nucl. Instr. Meth. A* **602** (2009) 337.

[3] H. W. Wang et al., *Nucl. Sci. Tech.* **33** (2022) 87.

[4] H. Ohgaki et al., *Phys. Rev. Acc. Beams* **26** (2023) 093402.

[5] Y. Taira et al., *Rev. of Sci. Instr.* **93** 113304 (2022).