

# 超短パルスガンマ線の発生と利用研究

分子科学研究所

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(電子ビームエネルギー750 MeV)では、5.5 MeV の連続ガンマ線と6.6 MeV の超短パルスガンマ線の発生と利用研究を行っている。5.5 MeV ガンマ線は、波長 1.95  $\mu\text{m}$  のファイバーレーザーを電子ビームの正面方向から入射して発生している。このレーザーは京都大学のグループが持ち込んだものであり、原子核物理実験に利用されている[1]。

6.6 MeV ガンマ線は、波長 800 nm の Ti:Sa レーザーを電子ビームの進行方向に対して 90 度方向から入射して発生している。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 程度の大きさであり、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。このガンマ線を用いて、ガンマ線誘起陽電子消滅分光法[2]や偏光検出型検出器の応答評価などが行われている。

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。GiPAS はユーザー利用が可能であり、応力負荷時の金属材料の欠陥形成のその場測定や鉄系材料、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。

一方で、UVSOR では新しい特徴をもつガンマ線源の開発も行っている。直線偏光や円偏光レーザーと電子ビームの散乱によって直線偏光及び円偏光ガンマ線が発生する事は知られている。これらレーザーは、ビーム断面で偏光の空間分布が一様である。それに対して、偏光分布が不均一なレーザーを発生する事も可能である。具体的な例として、半径方向に偏光が分布しているラジアル偏光や方位角方向に分布しているアジマス偏光が挙げられる。これらは、光軸に対して偏光分布が対象であるために軸対称偏光レーザー、またはベクトルビームと呼ばれる。軸対称偏光レーザーは、空間変調波長板(s-waveplate)を用いて発生可能である。これまでに、軸対称偏光レーザーを用いて発生するガンマ線の空間分布測定を行った。今後は、発生しているガンマ線の空間偏光分布を測定する技術開発を進める。

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

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