

EXTENSION OF ENERGY RANGE AND EVALUATION OF THE LASER COMPTON GAMMA RAY

Daisuke Tonaka^{A)}, Yasuhisa Kitagawa^{A)}, Ken Horikawa^{A)}, Satoshi Hashimoto^{A)},
Takayuki Hasegawa^{B)}, Yoshihiro Takagi^{B)}, Syuji Miyamoto^{A)}

A) NewSUBARU Laboratory of Advanced Science and Technology for Industry (LASTI), University of Hyogo
1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

B) University of Hyogo department of science
3-2-1 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1297

Abstract

Extension of energy range of the laser Compton scattering gamma-ray beam were performed on BL01 of NewSUBARU synchrotron radiation facility. We have tested a tunable Ti-Saf laser of wavelength range at 710 ~ 820nm. Tunable gamma-ray beams of 21MeV to 24MeV were obtained together with 17MeV gamma-ray generated by Nd:YVO₄ laser of 1064nm.

コンプトンガンマ線源の利用エネルギーの拡大とその評価

1. はじめに

現在、兵庫県立大学、高度産業科学研究所のNewSUBARU放射光施設、ビームライン1番(BL01)ではレーザーコンプトン散乱を用いた γ 線利用研究を行っている。NewSUBARUでは通常、電子電流220mA、電子エネルギー1GeVでのTopUp運転を行っている。BL01では波長1.064 μ mのNdレーザーおよび波長10.6 μ mのCO₂レーザーを用いて1GeV電子で散乱させることにより、ピークエネルギー17MeV、1.7MeVの γ 線を定常的に発生・利用することが可能である。[1]

MeVから数十MeVのガンマ線は、電子対生成や重元素の光核反応断面積の巨大共鳴エネルギー領域である。コリメータを用いることでこのガンマ線源を準単色化でき、また直線偏光や円偏光ガンマ線の発生が容易なその特性から磁気コンプトン散乱、光核反応核変換による放射性廃棄物の安定化や、宇宙核物理研究として超新星爆発時の(γ, n)反応による重元素生成の解明、ニュートリノ効果のための核構造測定などの応用研究が行われている。この準単色ガンマ線を物質に照射し原子核エネルギー順位を測定し、核種および同位体の同定の実験を可能とするべくガンマ線の利用エネルギー領域の拡大も進めている。レーザーコンプトン散乱 γ 線のエネルギーはレーザー波長と電子ビームエネルギーに依存するため容易にエネルギーの変更が可能であるがNewSUBARU通常運転中は電子エネルギー1GeV固定のため、波長の異なるレーザーの導入による発生ガンマ線源のエネルギー領域の拡大を行った。

2. Ti-Safレーザー

チタンサファイアレーザー(Ti-Safレーザー)とはレーザー媒質にチタンをドープしたサファイアを使用する固体レーザーで波長可変である。今回実験で用いたレーザーの発振可能な波長は710nm~820nmで一番効率よく発振したのは770nmであった。図1にこのレーザー出力の波長依存性を示す。

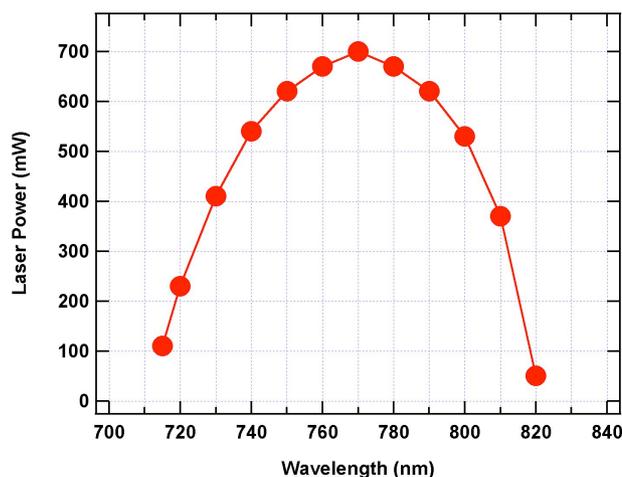


図1: Ti-Safレーザー出力—波長特性

励起源にはNd:YAGレーザーの2 ω の高調波を用いた。今回は波長可変性を用いたがTi-Safレーザーは超短パルス発振が可能のため、超短パルスとそれに伴う非線形現象の研究に使用されている。

¹ dtonaka@lasti.u-hyogo.ac.jp

3. 実験結果

波長可変(710~820nm)のTi-Safレーザーを用いてそれぞれの波長で新たなエネルギー領域のガンマ線を発生させた。Ndレーザーと同じ光学系に入射できるため、同時に2つのレーザーを入射することで異なるエネルギーの準単色ガンマ線を発生することができた。図2に同時入射スペクトルを示す。

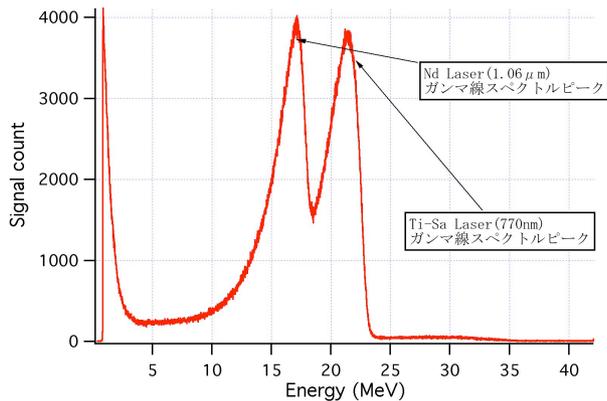


図2: Nd、Ti-Saf同時入射ガンマ線スペクトル

図2での測定条件は以下の通りである。

- Ndレーザー出力/波長 1W/1.06 μm
- Ti-Safレーザー出力/波長 0.7W/770nm
- NewSUBARU電流値 220mA
- 測定時間 100sec
- 検出器 NaI(6inch×6inch)シンチレータ検出器
- コリメータ 3mm φ

次に図1での発振可能な波長でのTi-Safレーザーガンマ線の最大エネルギーの変化を図3に示す。

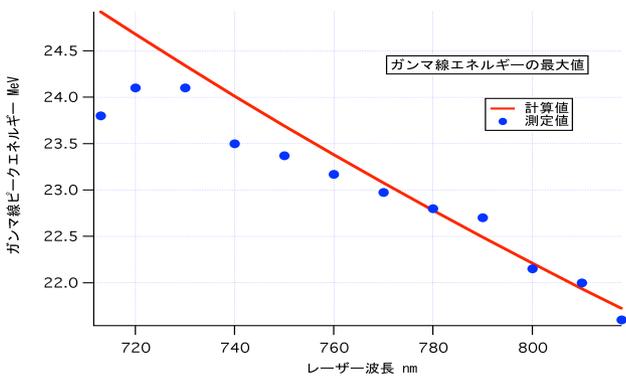


図3: 波長可変Ti-Safレーザーを入射した場合のガンマ線最大エネルギーの変化

4. 考察

Ti-Safレーザーを用いて21~24MeVのガンマ線を発生することができた。レーザー波長を変えることで電子エネルギーを変えることなくガンマ線エネルギーの変更が可能である。図3での計算値に比べ測

定値は高エネルギーが出ていないがこれは検出器の応答のためガンマ線のスペクトルピークが広がるためである。最大エネルギーの評価方法の検討が必要である。

2波長ガンマ線を用いてそれぞれの物質に対応したガンマ線による核共鳴散乱の実験やガンマ線源自体の評価を行うことを検討中である。現在波長1.5 μmのファイバーレーザーの導入を進めている。これにより11.4MeVのガンマ線の同時発生が可能になる。ファイバーレーザーも同時に入射した場合の3波長のガンマ線発生が見込める。図4に計算例を示す。

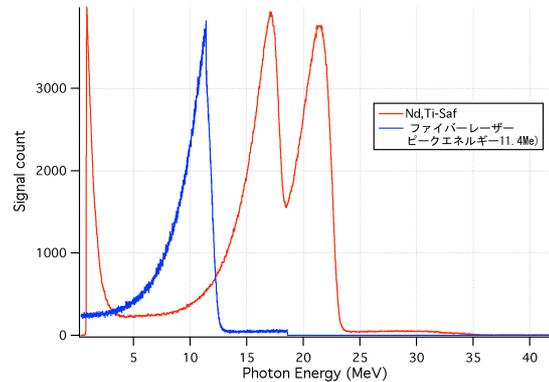
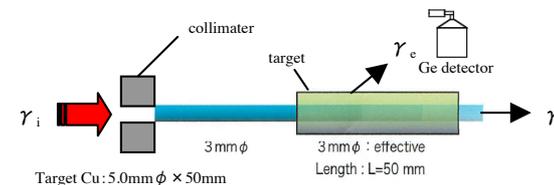


図4: 1.5 μmレーザーを加えた3波長同時ガンマ線

5. 放射化法によるガンマ線フラックス測定

蓄積電流が高電流(100mA以上)のときは検出器の不感時間が大きいいためフラックス測定精度が大きく低下する。正確に評価するためには大型の検出器と高速計数が必要である。この計測に対してクロスキャリブレーションを行うため放射化法を用いた計測を行った。光核反応断面積が既知であるターゲットにγ線を照射することでターゲットを放射化させ崩壊時に生ずる低エネルギー(数百keV程度)のγ線を測定することで入射γ線のフラックスを評価する。[2]



ターゲットCu

⁶³Cu半減期

文献値[3] T_{1/2}=9.67min

測定値 T_{1/2}=9.96min

<GSO検出器による γ 線フラックス評価値>

$$N_{\gamma} = 1.98 \times 10^5 \text{ phton/sec}$$

<Cu放射化法による γ 線フラックス評価値>

$$N_{\gamma} = 1.58 \times 10^5 \text{ photon/sec}$$

6. ガンマ線パルスによる飛行時間法 (TOF)中性子測定

ガンマ線を各種ターゲット(Cu、I、Au)に照射し、 (γ, n) 反応によって発生する中性子スペクトルを、飛行時間法を用いて測定した。検出器には直径10cm、厚さ10cmのプラスチックシンチレータを用いた。この中性子検出器の時間分解能は3 nsであり、エネルギー分解能は中性子エネルギーの7MeVに対して0.7 MeVである。検出角度は、 $\theta = 90 \text{ deg}$ で固定[4]。今回検出器後の高速アンプを改善した。図5に測定した中性子のエネルギーの分布図を示す。

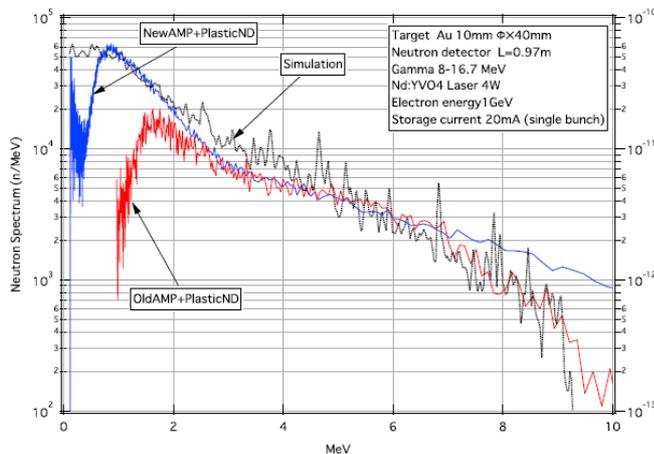


図5: 中性子エネルギースペクトル

参考文献

- [1] Ken Horikawa, "Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 618 (2010) 209-215"
- [2] Daisuke.Tonaka, "FLUX CALIBRATION OF GAMMA RAY BY ACTIVATION METHOD"
- [3] 地人書館 「放射線データブック」
- [4] Ken.Horikawa, "23pRH-8 Dependences for gamma ray polarization directions of neutrons from photonuclear reactions"