

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：82118

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K17699

研究課題名(和文) GAGG結晶を用いたガンマ線と中性子の分別能力を高めた電磁カロリメータの開発

研究課題名(英文) Development of GAGG electro-magnetic calorimeter which has capability of the gamma and neutron separation

研究代表者

外川 学 (Togawa, Manabu)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：50455359

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：GAGG結晶は高い光量、早い時間応答を持つシンチレータで、高エネルギーガンマ線検出器としても高い性能が期待されている。そのために大型化(世界初の直径5 cm、10 cm長さ)を行い性能評価を行った。またMgをドーピングすることで時間応答が変化する特性を生かし、ガンマ線、中性子の分別能力を高めた結晶も製作した。東北大学の200-800 MeVの陽電子ビームを用い性能評価を行い、ガンマ線に対して期待通りの性能を示すこと確認した。

研究成果の概要(英文)：A GAGG crystal which has high light yield and fast response of light emission (decay constant) is expected to be better scintillation counter for the high energy use. We developed large size crystal, 5-cm diameter and 10-cm long, and evaluated its performance. Using remarkable property of changing decay constant by doping Mg in GAGG crystal, we also made 20-cm long crystal which is joint of the No-Mg-doped and Mg-doped 10 cm long crystals. Such crystal which has 2 decay constant would has a capability of separation for photon and neutron by comparing signal shapes. This GAGG crystal was evaluated by 200 - 800 MeV positron beam and obtained data is well reproduced by the Monte-Carlo simulation.

研究分野：素粒子物理学実験

キーワード：電磁カロリメータ 素粒子実験 測定器

1. 研究開始当初の背景

J-PARC KOTO 実験では、K 中間子の希崩壊の終状態である 2 つのガンマ線を電磁カロリメータで測定する。主な背景事象の一つに、K 中間子ビームに混在する中性子が挙げられる。中性子がカロリメータに入射した際、2 度の反応が起こり、2 つのガンマ線に見えることで誤認する。実際のガンマ線入射のヒットパターンを比較することで大幅に落とせるが、目的とする物理事象が希崩壊であり、本バックグラウンドを更に 1/10 まで落とす必要があり、対策を行なっている。

KOTO 実験では更に統計量を増やすステップ 2 の計画があり、検出器は現行のものを再利用しつつも、大きく変更する予定である。その際、検出器の中でも特に重要な電磁カロリメータの新たな候補も検討を行っている。

2. 研究の目的

素粒子、原子核実験分野で広く使われている、高エネルギーガンマ線検出器の電磁カロリメータを新たに開発する。特に高レートの実験に対応できるよう、早い時間応答の物として、最近開発された Gd<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Ga<sub>3</sub>O<sub>12</sub>(Ce) 結晶 (GAGG 結晶) を候補に挙げる。通常の結晶では高い光量、100 ns の時間応答が得られるが、Mg を添加する事で、光量が落ちるが時間応答が更に早くなる性質を持つ。

GAGG 結晶は、現在の所、環境放射線計測用として小さな結晶でのみ製作されており、素粒子、原子核実験分野用に大型化を行い、その性能評価を行う。また、添加物の濃度により時定数を調整した結晶を用いる事で、ガンマ線と中性子の弁別能力を高めた電磁カロリメータの製作も目的とする。

3. 研究の方法

本期間において、下記 3 つの計画を目標に行った。1) 長い結晶の製作を依頼し、光量の一様性、透過率など基礎的な性能評価を行う。2) Mg 添加物の量を変えた物について、どこまで発光時定数を小さくできるか、またその時の光量を明らかにする。3) 時定数の違う結晶を光学接続し、出力波形によるガンマ線、中性子弁別の性能評価を行う。

結晶は時定数などの基礎測定を行うための小型結晶、と 10 cm の結晶を別途用意し、評価を行った(図 1)。アルミナイズドマイラーとブラックシートで遮光し、読み出しデバイスとしては、光電子増倍管(H1161)を使用した。

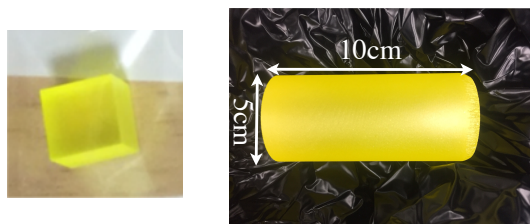


図 1: 左) 5x5x5 mm<sup>3</sup> 角の結晶。右) 初の大型 GAGG 結晶。直径約 50 mm、長さ 100 mm の円筒形。

4. 研究成果

1) 長い結晶の製作を依頼し、光量の一様性、透過率など基礎的な性能評価を行う。

初めて製作した 10 cm 長の結晶について、Cs 線源を用いて、光量の位置依存性を両端から光電子増倍管で読み出した。その差から、透過率、光量の位置依存性を分けた結果が図 2 である。減衰率は、10%/10 cm 程度と小さかったが、光量の位置依存性は 30%/10 cm 程度と大きなものであった。

結晶製作者である C&A コーポレーションに相談したところ、発光体である Ce の濃度が結晶化中に変化し、光量の位置依存性を生んでいるとのことで、機器の調整後、次機製作時では、10%/10 cm 程度に抑えることに成功した。

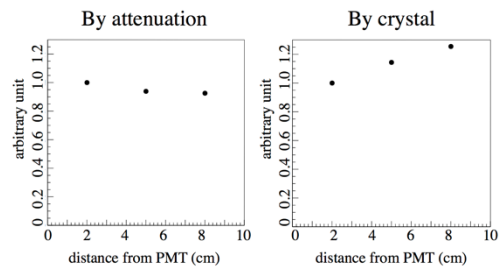


図 2: 10 cm 長結晶の位置依存性。結晶の上下端から測定で、左) 透過率と、右) 位置依存性とに分けて表示。

2) Mg 添加物の量を変えた物について、どこまで発光時定数を小さくできるか、またその時の光量を明らかにする。

Mg の濃度変化に伴う時定数、光量の変化については、1 mm 厚の結晶を製作以来し、測定を行った。Cs 線源で光電ピークを測定することができ、その値を横軸 Mg のドーブ量で比較したものを図 3 に示す。Mg ドープによって光量が減衰し、最大半分程度になるが、ドーブ量が 0.5%程度で飽和する傾向にある。

また、Mg ドープ量の違い毎の波形の変化を図 4 に示す。波形はオシロスコープ、Tektronix TDC3052B を使用して取得した。波形を 2 つの exponential の重ね合わせでフィットした結果を表にまとめている。結果から、GAGG の波形は 2 成分あり、Mg のドーブによって、長い時定数が減衰するように見える。ドーブ量によって短くはなっていないものの、大きな変化は見られなかった。

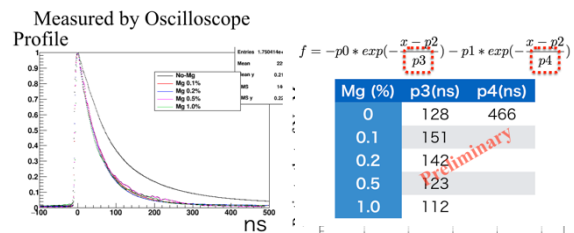


図 4: 左) Mg ドープ量ごとの GAGG の波形ピーク位置の高さを 1、時間を 0 に規格化している。右) フィットで得られた時定数。

3) 時定数の違う結晶を光学接続し、出力波形によるガンマ線、中性子弁別の性能評価を行う。

今回は 10 cm 長の、Mg ドープなしと 1% ドープの 2 種類の異なる時定数の結晶を繋ぎ、20 cm の結晶を製作した。光学接続にはオプティカルセメント BC-600 を使用した。ガンマ線の応答を調べるため、東北大学電子光物理学研究センター (ELPH) の 200~800 MeV 陽電子ビームを用いて性能評価を行った (図 5)。

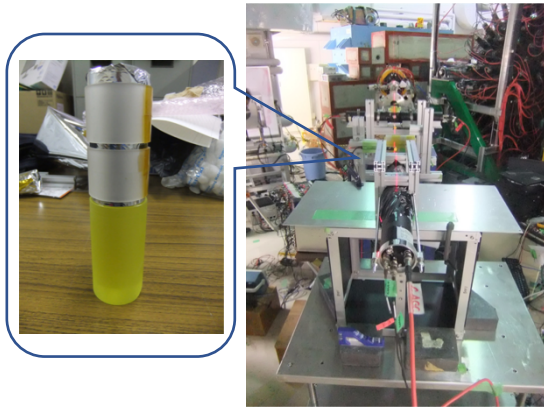


図 5: 左) 2 本の GAGG 結晶を接続した様子。径が微妙に違い、スペーサを使ってサポートを行っている。右) ELPH での実験の様子。

陽電子ビームを結晶の長手方向に対して平行に入射した時の入射エネルギーと、測定されたエネルギーのピーク値の関係を図 6 に示す。シミュレーションによる結果も同時に示しており、200 MeV のデータで、シミュレーションの結果と比較し、エネルギー更正を行なった。高いエネルギーの入射に対してもシミュレーションとよく一致し、ガンマ線や陽電子で主な反応である、電磁シャワーをよく理解できていると言える。

次に結晶の長手方向に垂直にビームを入れ、z 位置ごとの出力波形を測定した (図 7)。期待通り、Mg ドープ有無による 2 種の波形が見え、間では電磁シャワーの広がり分、中間の波形になることを確認した。

GAGG の電磁シャワーによる応答は期待通りの結果であり、計画通り、長手方向に 2 種の時定数を持つ電磁カロリメタの製作に成功した。次は中性子ビームを当て、そのデータとの比較によって、中性子、ガンマ弁別の能力評価を行う予定である。

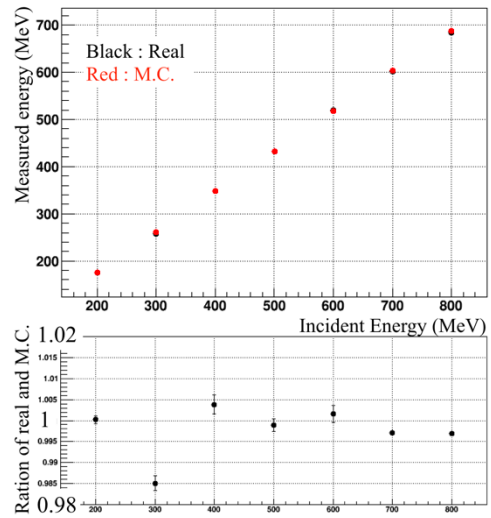


図 6: 上) 陽電子ビーム入射と GAGG の関係。中) 陽電子の入射エネルギーに対して、結晶内で落としたエネルギーとの相関。200 MeV のデータをシミュレーションの結果で校正。下) データとシミュレーションの比。

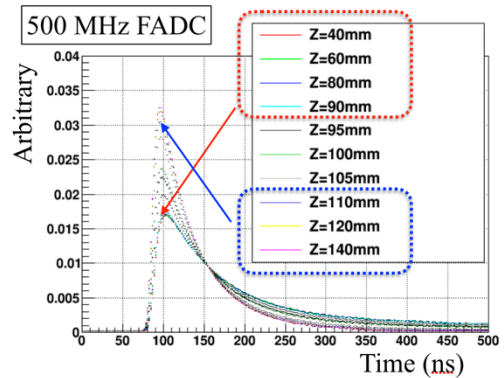
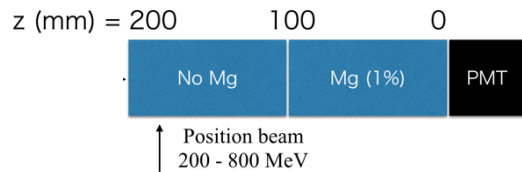


図 7: 上) 陽電子ビーム入射と GAGG の関係。下) 書く z 位置に入射した際の波形。Mg ドープ有無で 2 種の時定数が綺麗に別れ、間は波形の広がり分、中間値を持つ。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

「高エネルギー実験利用に向けた大型GAGG結晶の電子ビームによる性能評価」  
日本物理学会 第73回年次大会 (2018)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

外川 学 (TOGAWA, Manabu)

高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授

研究者番号：50455359

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )