

機関番号：82118

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19540293

研究課題名（和文） ナノ粒子分散ガラスのシンチレーション検出器への応用

研究課題名（英文） Feasibility study of a nano-particle doped glass as a scintillation counter

研究代表者

原 隆宣 (HARA TAKANORI)

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：70283827

研究成果の概要（和文）：この研究課題の目的は、半導体ナノ粒子分散ガラスがシンチレータ媒体として使用可能かどうか探ることである。入手した試料は、粒径2.7nmを $28\mu\text{mol/L}$ （試料A）、粒径3.8nmを $12\mu\text{mol/L}$ （試料B）のナノ粒子分散ガラスと比較用の通常ガラスである。調査の結果、試料Aが約570nm、試料Bが約670nmの蛍光をするが、この波長は光検出器の最適な波長領域から外れているという結果となった。また、ガラスの透明度や形状にもシンチレータ媒体として今の段階では問題があることが判明した。

研究成果の概要（英文）：A new material “nano-particle doped glass” is studied whether or not it is applicable as a scintillation counter to detect a charged particle. In this study, two samples are used. One is the sample in which 2.7nm-radius silicon particles are doped at a rate of $2.8\times 10^{-5}\text{ mol/l}$ (Sample A) and the other in which 3.8nm-radius silicon particles are doped at a rate of $1.2\times 10^{-5}\text{ mol/l}$ (Sample B). Also a glass without doping any silicon nano-particle is tested as a reference. Although the Sample A and B produce scintillation light with a peak of about 570nm and 670nm in the wavelength distribution respectively, we found that these do not lie in the wavelength range where typical photo-sensors are sensitive. Not only because of this fact but also because of opacity, difficulty of making a thick and large sample, it is concluded that the nano-particle doped glass is not suitable for a scintillation counter with a current technology.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学 ・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：粒子識別、シンチレーション、検出器

1. 研究開始当初の背景

加速器を用いた高エネルギー実験では、衝突させる粒子のエネルギーを上げようとする実験と、生成される事象数を増やそうとする実験に主に分かれています。このうち後者はB中間子系におけるCP非対称の測定を行うBELLE実験に代表され、研究開始当初までに 600fb^{-1} 以上のデータ量を記録し、世界最高の積分ルミノシティを達成していた（現在は 1000fb^{-1} を超えている）。これまでの代表的な成果として、 $b \rightarrow ccs$ を含む崩壊を解析し、CPの破れを引き起こす原因（標準理論では小林-益川行列の複素位相に含まれる）と考えられている複素平面上でのユニタリテータ三角形の角度にあたる ϕ_1 を測定した。その値も研究開始当初で $\sin 2\phi_1 = 0.652 \pm 0.039$ （統計誤差） ± 0.020 （系統誤差）という精度で測定していた。今後は $b \rightarrow sss$ を含む崩壊や非常に崩壊分岐比の小さな崩壊モードを用いてCPの破れを測定することで、標準理論を越えた物理が現れてくる可能性があり、それに向けてSuperKEKB実験を計画中である。ここで重要となる要素の一つとして、粒子識別能力を向上させることが挙げられていた。現在チェレンコフ光を利用した検出器や結晶で粒子が発するシンチレーション光を利用した粒子識別用の検出器が使われているが、基本的にはこれらの光を光電子増倍管と呼ばれる装置で電気信号に変えて粒子の落としたエネルギーやパターンを測定することで粒子識別を行っている。この精度は光電子増倍管が捕らえることのできた光子の数に対応している。そのため精度を上げるには光子自体の数を増やせば良い。

またBELLE実験以外にも $K^0 \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ のような非常に希な崩壊を探す場合、 π^0 から出てくる ν をいかに漏れなく捕らえ、バックグラウンドとなるビーム中に含まれる中性子をいかに精確に排除できるかが重要になってくる。特に中性子の測定にはプラスチックシンチレータと鉛板のサンドイッチ型検出器が使われていたりするが、これも鉛板で中性子によるphoto-nuclear効果で生成された電磁シャワーがプラスチックシンチレータ内で出すシンチレータ光の量が鍵となる。

そこでシンチレータ内で作られるシンチレータ光の量を増やすことができれば、これらの測定には非常に役に立つ。研究開始当初、半導体ナノ粒子を高濃度で分散させたガラスが製造され、当時、新規蛍光材としてディスプレイなどに応用される研究が行われていた。このナノ粒子分散ガラスの特徴として、発光量が多いこと、蛍光が非常に短い（10ns程度）こと、素粒子実験などで同様の蛍光剤として応用が期待されている有機色素より

劣化が少ないことが挙げられる。これらの特徴を生かして、これまでより発光量の多い新しいシンチレーション検出器用の新素材が開発できるか研究することに挑戦した。

2. 研究の目的

これまでシンチレータ媒体として使用されてきたプラスチックシンチレータやCsI(Tl)は、荷電粒子が通過した際に放出された光をシンチレータ内に混入された不純物が光電子増倍管に感度のある光の波長へと変換することで、荷電粒子を検出していた。この構造はナノ粒子分散ガラスを使っても変わらないが、この変換の効率がどの程度のものかを明らかにすることが鍵となる。仮に観測できる光の量が多くなれば、それだけ精確に荷電粒子がシンチレータ媒体中に残したエネルギーを測定したり、粒子の種類を精度良く特定したりすることができる。

現在有機色素を用いたシンチレータ、結晶やプラスチックを用いたシンチレータ素材があるが、ナノ粒子分散ガラスを使用したものはこれまで研究されていない。

この研究では新しい素材であるこのナノ粒子分散ガラスという媒体が、シンチレータ媒体として使用するに足る素材であるかどうかを確認することが、最終目的である。

3. 研究の方法

ナノ粒子分散ガラスで光電子増倍管に感度のある光の波長領域約400nmに蛍光を発する資料を入手する。まず、これが実際に素粒子実験で使用できる素材であるのかどうかをまず判断することが重要である。そのため大掛かりな実験装置は用いず、宇宙線 μ 粒子を利用した実験を行う。

混入するナノ粒子の粒径が違う2種類の分散ガラスとナノ粒子を混入していないガラスの三つの試料を用意する。これらに同じタイプの光電子増倍管を接着し、外部から光が進入しないように黒いビニルで厳重に包装する。次に宇宙線 μ 粒子が入射してきたことを捕らえるためのトリガー用シンチレータを、ナノ粒子分散ガラスの試料を挟むように設置する。これが基本的な実験装置となる。この装置の光電子増倍管に高電圧を印加し、試料に荷電粒子である μ 粒子が通過したときに観測される光の量を光電子増倍管からの電気信号として記録する。ナノ粒子分散ガラスの試料で測定が終わると、これをナノ粒子分散ガラスを混入していないガラスのみの試料と入れ替え、同じ実験を繰り返す。これら三つの試料から得られた電気信号の大

大きさを比較し、ナノ粒子分散ガラスが普通のガラスに比べて、どの程度光量が多いのかを判断し、有効な素材の可能性があるかどうかを吟味する。

4. 研究成果

2007年度の研究目的は、試料として使用するナノ粒子分散ガラスの選定を行い、実際に入手することであった。

この新素材はガラスに極小粒子のシリコンを混入したものである。このガラスの本来の用途は液晶画面などへの応用であったため、それまでできるだけ薄い素材を作る研究が続けられてきた。そのため、最大厚0.2mmという、シンチレータ媒体としては非常に薄い試料しかこれまで作製されておらず、本研究に必要な最薄でも1mm厚以上の試料は当初無かった。

そこで計画では実験に耐えうる厚さの試料作りから始める必要があった。当初計画では薄い0.2mm厚の試料を数枚重ねて1mm厚の試料を作成し、実験を行う予定であった。しかし、その後の試料作成の研究段階において、予想外のひずみや波打ちなどの大きな不均一が発見され、複数枚を重ね合わせる技術が相当難しいことが判明した。さらに、数枚重ねるとその薄さも手伝って、わずかな衝撃でもひび割れ等、破損することが判明した。

この問題を解決するため薄いガラスを数枚重ねる方法を諦め、これまでの液晶画面開発に必要であった薄いガラスを作る方向性とは全く逆の、一枚のガラスで厚さ1mmを実現する研究を産業技術総合研究所に依頼した。2007年2月初旬、面積を小さくし通常のガラスを補強剤として使うことにより、ようやく1mm厚の試料作製の目処が立ち、その結果、2007年度中に試料を入手することができた。しかしその反面、大きさは希望の半分程度(7mm四方)となった。

2008年度には昨年度中に入手したナノ粒子分散ガラスを調べ、シンチレータとして使用に耐えうるかどうかを吟味した。

試料はナノ粒子の粒径2.7nmを 2.8×10^{-5} mol/L混入させたガラス(試料A)、粒径3.8nmを 1.2×10^{-5} mol/L混入させたガラス(試料B)の2種類と、比較用として通常のガラスの計3種類の試料を作成した。またそれぞれについて、ガラス板に試料を埋め込んで自立型にしたものも作成した。

まず、これらの3種類の試料に紫外線を当てて、得られる光量を調べた。試料Aは紫外線を吸収して約570nmの蛍光をし、一方試料Bは約670nmの蛍光を主にする。共に得られた光量は通常ガラスを用いたものよりは多いものの、この蛍光の波長は光検出器である

光電子増倍管の有効感度がある領域(約450nm)から外れており、最も望ましい領域の蛍光ではないことが分かった。

次に、シンチレータ媒体として使用する場合に重要な他の点として、透明度の調査を行った。

ナノ粒子分散ガラスはシリコンのナノ粒子をガラスに混入することによって、シンチレータ光を発生させるものである。そして、光量を増やすためには、このナノ粒子の混入割合を増やす必要がある。一方、この混入割合を増やせば、透明度が悪くなり、せっかく高い光量が得られても、光電子増倍管に届くまでに光が減衰し、最終的にはシンチレータ媒体として、機能しなくなる。

今回作成した試料は、より多くの光量を作り出すことに主眼をおいたため、共に $1.2-2.8 \times 10^{-5}$ mol/Lという量のナノ粒子を混入したのだが、その結果透明度は写真のように悪いものとなってしまった。さらに、分厚い試料には、作成する際に細かな気泡が混じることもあり、透明度を下げる結果となった。

2009年度には、別のナノ粒子分散ガラスの試料を作成する予算的余裕が無かったため、これまでに得られた結果を基に、シンチレータ媒体として有効かどうかを吟味した。得られた光の波長、光量、またその透明度を一般的に使用されている既存のプラスチック・シンチレータと比較した結果、ナノ粒子分散ガラスをシンチレータ媒体として使用するには、残念ながら問題が多いことが判明した。さらに、加工する技術においても、シンチレータ媒体として使用するために必要な、厚さ、平坦さ(加工のしやすさ)の観点からプラスチック・シンチレータよりも劣る結果となった。かかる費用としては、現在ナノ粒子分散ガラスは研究段階であるため、非常に高価なものとなっている。

現在、ナノ粒子分散ガラスの用途としては液晶画面などに応用する方面とは別に、ガラス状にせず液体状で蛍光させ生物医学などに応用させる研究が主流となっている。そのため、シンチレーション検出器に必要な透明度や分厚い試料の作成などに対する研究を続けることは難しい状態である。その反面、液状のままシンチレーション検出器として研究する余地は十分残されていると考えている。

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)

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 隆宣 (HARA TAKANORI)

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：70283827