

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19540317

研究課題名(和文) エアロジェルを用いた新しいファイバー検出器の開発

研究課題名(英文) Development of new fiber counter based on silica aerogel

研究代表者

足立 一郎 (ADACHI ICHIRO)

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・助教

研究者番号：00249898

研究成果の概要(和文): 屈折率 1.050 以上の高い領域で、エアロジェルの透明度向上に成功し、波長 400nm で、透過長 50mm と以前の比べ倍以上性能の良いサンプル製作を実施した。テストビームを用いて、チェレンコフ光検出を実施した。新しいエアロジェルをファイバー形状にするため機械加工の可能性を検証した。

研究成果の概要(英文): We have successfully produced new aerogel with higher index greater than 1.05. The obtained transmission length at a wave length of 400 nm was about 50 mm, which was more than doubled compare to the previous samples. In addition, machining possibility to make fiber shape was also examined.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：エアロジェル、チェレンコフ光、光検出器

1. 研究開始当初の背景

(1) Bファクトリー実験のためのチェレンコフ検出器の輻射体のために疎水性のある 1.05 以下の低屈折率領域のシリカエアロジェルが研究開発され、屈折率 1.05 以下の領域で、透明度向上について大きな進展があった。しかし、1.05 以上になると透明度が急激に劣化し、この範囲での改善が求められる状況であった。

(2) 透明なエアロジェル製造が可能になった

ことで、チェレンコフイメージを検出する測定器のチェレンコフ輻射体として用いられる可能性が広がった。Bファクトリー実験の場合、K中間子とパイ中間子を識別するには屈折率 1.05-1.06 程度の高透明度のサンプルが求められていた。

(3) 近年の素粒子・原子核実験において、多重粒子、高いバックグラウンドの環境で実験を行うことが一般的となってきた。このなかで、バックグラウンドに比較的強く、飛跡検出

及び粒子識別ができる検出器が求められていた。

2. 研究の目的

(1) シリカエアロジェルについて屈折率 1.05 以上の範囲をふくめ、光学的性能を改善する。それによって、エアロジェルのチェレンコフ輻射体としての使用適用を広げる。

(2) エアロジェルを機械加工することで、ファイバー形状の生成をより容易にする。この時、サンプルの切断面の状態によって、生成されるチェレンコフ光の反射等が変化するため、切断方法とその影響を明らかにする。

(3) エアロジェルの透明度向上の検証として、チェレンコフリングイメージ検出器のプロトタイプを製作し、総合試験としてテストを実施する。これによって、得られる光量からエアロジェルの光学的性質の評価を実施する。チェレンコフ角分布を調べる事によっても、粒子識別分解能及びバックグラウンドの大きさなどの情報を得る。

3. 研究の方法

(1) 高屈折率でのエアロジェルの製作では、そのアルコゲル製作段階で、化学薬品の調合比の最適化に加え、新しい有機溶媒を用いて試作を実施する。

(2) エアロジェル製作において、クラックの無いサンプルを生成することは、実際に実験装置として使用する際、非常に重要な点である。アルコゲルから超臨界状態でアルコールを炭酸に置換し、エアロジェルを製作する。現在、我々が使用している超臨界抽出装置の写真を以下に示す。左奥にあるのが、アルコゲルを入れ、炭酸置換を行う容器である。



我々は、このときの諸条件、特に炭酸置換を実施するまでの養生時間、更に炭酸注入速度、加圧速度及び温度などの最適化を計ることで、クラックのないサンプルの製造を行った。

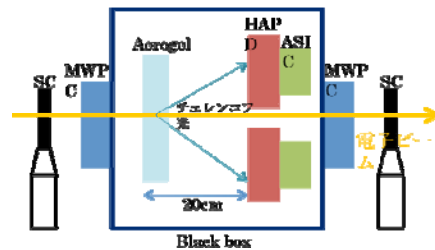
(3) エアロジェルの機械加工の可能性としては、その疎水性をいかし、ウォータージェット装置を用いることで、切断を実施した。こ

の装置は、超高压力の水を細いノズルからサンプルに照射し、切断する装置である。切断形状はプログラム可能であることから、一般に任意の形の形状を切り出すことができる。また、ノズルの移動速度などを変化させ、より切断面に影響が少ない方法を取り入れた。ウォータージェット装置での切断の様子を以下に例としてあげておく。



(4) チェレンコフ輻射体としての性能評価として、我々はリングイメージチェレンコフ検出器のプロトタイプを製作し、これを用いたビームテスト実験を実施した。ここで、今回製作したエアロジェルを用い、光検出器としては、浜松ホトニクス社の 144 チャンネルのマルチアノード型ハイブリッドアバランシェ光検出器 (HAPD) を用いた。これは、6x6 チャンネルにピクセル化された四つのアバランシェフォトダイオード (APD) を真空管と組み合わせた光検出器である。チェレンコフ光は、入射窓からフォトカソードにあたり光電子を発生させる。光電子は真空管部に印加された約 7kV の高電圧で加速され、APD に到達し、約 1500 個のホールペアを生成する。この電子信号は APD にかけて逆バイアス電圧で、空乏層でアバランシェをおこし、更に 40 倍ほど増幅する。このように約 60000 倍に増幅された電子信号を各パッドから読み出す事により、位置情報も得る事ができ、イメージングが可能である。ここで、光検出器の主な仕様を表に示す。

チャンネル数	144
ピクセルサイズ	5mmx5mm
ゲイン	~60000
静電容量	80pF

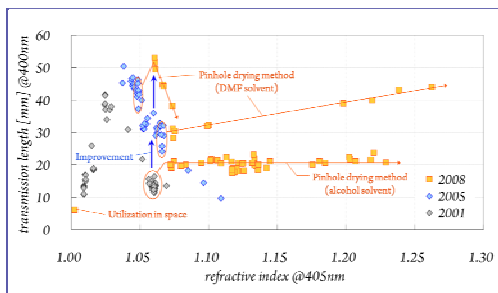
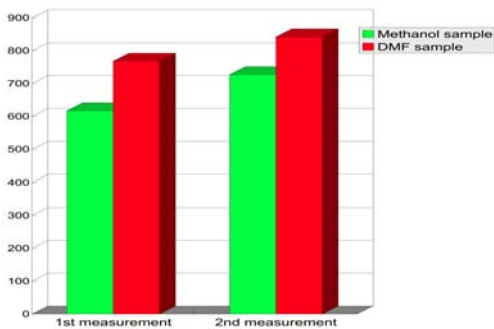


この HAPD を光検出器として設置し、上図に示すプロトタイプチェレンコフリングイメージ (RICH) 検出器を制作し、富士テストビ

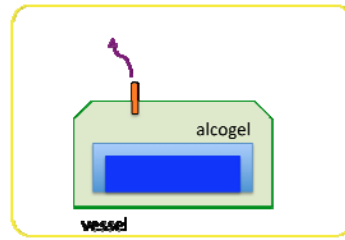
ームラインで 2GeV/c の電子ビームを照射し、その性能を評価した。ここで、SC はトリガ用シンチレーションカウンター、MWPC は入射ビームの飛跡を求めるためのチェンバーである。HAPD の読み出し電子回路には、Custom made の ASIC チップからなるシステムを採用し、ヒットの on/off 情報のみを読み出すことにしている。

4. 研究成果

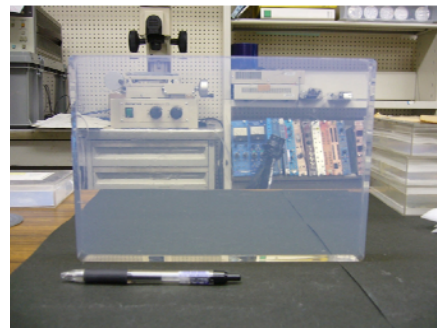
(1) 高屈折率でのエアロジェルの製作では、新しい化学薬品ジメチルフォルムアミド (DMF) を溶媒として用いて、ゾルゲル反応を進行させることで、高屈折率 (すなわち高密度) のサンプルでも、SiO₂ の分子クラスターをより細かに生成できることがわかった。この検証として、下に窒素を用いた BET 法の結果をのせる。通常メタノール溶媒で製作されたサンプルと比べ、DMF 溶媒で作られたものは窒素の吸着量は多い事が示された。これは、DMF 溶媒サンプルに、より細かな SiO₂ クラスターが含まれていることを示唆する結果である。



このように DMF 溶媒を用いて製作されたエアロジェルの透明度を測定し、今までのエアロジェルと比較したものが上図の 2005 年のデータである。ここでは、更に透明度を向上させるため、「pinhole 乾燥法」という手法を導入した。これは、次図のように、アルコゲルを容器内に設置し、その容器にわずかな穴をあけ、人工的にこの穴よりゲル内のアルコールを蒸発させ、ゲルを収縮させることで、その密度を増加させるものである。これによって、本来もっとも高透明度が期待できる屈折



率 1.05 近辺でアルコゲルを作り、pinhole 法によって、光学的性質を保ちながらその屈折率を増加させることができれば、高透明度な高屈折率エアロジェルを生成できる。これによって、作った結果が前図の 2008 年のデータである。この方法では、屈折率が高くなれば、透明度も若干ではあるが向上することがわかった。波長 400nm での透過長は、従来のアルコール媒体による方法に比べて、約 3 倍の 50mm に達することがわかった。

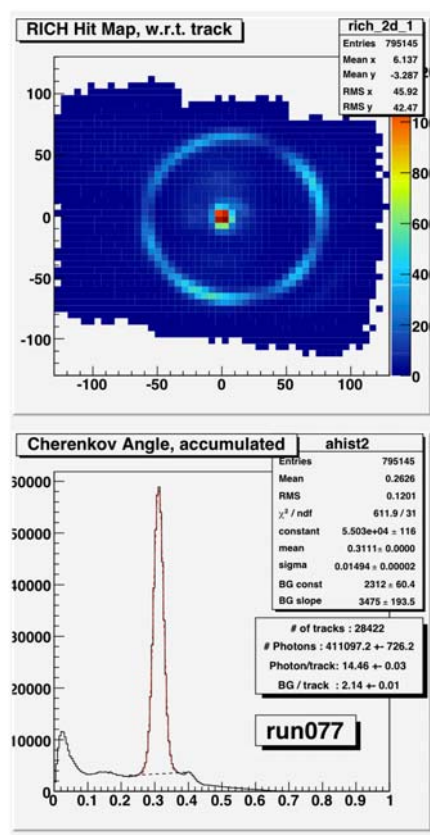


次に、ファイバーを生成するにあたって、もともとのゲルのサイズはできるだけ大きくしておく必要がある。ただし、サンプルの内部にはクラックがあってはならない。この大面積クラック無しサンプルの試作も実施した。上にそのクラックなしサンプルの写真を示す。

これは、面積が 260mmx180mm、厚さ 20mm で、従来のサイズである 160mmx160mmx20mm と比べると体積 1.8 倍の大きさをもつ。

(2) プロトタイプ RICH 検出器 (プロトタイプ詳細は前項に既に記述) により総合試験は、2009 年 11 月に富士テストビームラインにて実施した。2GeV/c の電子ビームを照射した時の得られたチェレンコフ角分布を次に示す。上からチェレンコフリングイメージが明瞭に観測できていることがわかる。また、下のチェレンコフ角分布から、きれいなピークが得られた。このピークをガウス関数でフィットすることによって、プロトタイプ RICH 検出器のシングルフォトンチェレンコフ角度分解能 (σ) は、14.9mrad であった。さらに、このピークを、上記で求めた σ を用いて、 $\pm 3\sigma$ の範囲で積分することにより、観測できる光電子数の総数を求めると 14.5 個となった。この数字は従来のエアロジェルを輻射

体として使用した時と比べて、約 2.5 倍の増加である。これは、エアロジェルの透明度が、今回の研究によって向上したことに起因するものと考えられる。



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)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① S.Nishida, I.Adachi et al., "Study of an HAPD with 144 channels for the Aerogel RICH of the Belle upgrade", 査読有、Nucl.Instrum. & Methods A610 (2009) 65-67.
- ② I.Adachi, Y.Ishii et al., "Study of a silica aerogel for a Cherenkov radiator", 査読有、Nucl.Instrum. & Methods A595 (2008) 180-182.
- ③ S.Nishida, I.Adachi et al., "Development of an HAPD with 144 channels for the aerogel RICH of the Belle upgrade", 査読有、Nucl. Instrum. & Methods A595 (2008) 150-153.
- ④ T.Iijima, I.Adachi, S.Nishida et al. "Studies of a proximity focusing RICH with aerogel radiator for future Belle upgrade", 査読有、Nucl. Instrum. & Methods A595 (2008) 92-95.

- ⑤ S.Korpar, I.Adachi, S.Nishida et al., "Measurements of Cherenkov Photons with Silicon Photomultipliers", 査読有、Nucl. Phys. Proc. Suppl. 197:283-287, 2008.
- ⑥ I.Adachi, S.Nishida et al., "Study of a proximity focusing RICH with a silica aerogel radiator", 査読有、Nucl. Instrum. & Methods A581 (2007) 415-418.

[学会発表] (計 6 件)

- ① 多賀井里枝、「Belle II 実験のための Aerogel-RICH 検出器プロトタイプの実験による性能評価」、日本物理学会、2010年3月21日、岡山大学
- ② 椎塚 晋、「144ch Hybrid Avalanche Photo-Detector の中性子耐性評価」、日本物理学会、2009年9月10日、甲南大学
- ③ 黒田英諒、「144ch HAPD 信号読み出し用 ASIC の開発」、日本物理学会、2010年9月10日、甲南大学
- ④ 澤藤奈津子、「Aerogel-RICH のための光検出器 HAPD の性能評価」、日本物理学会、2008年9月20日、山形大学
- ⑤ 植木泰生、「Aerogel-RICH における HAPD 用 ASIC の性能評価」、日本物理学会、2008年9月20日、山形大学
- ⑥ 石井良和、「高密度エアロジェルチェレンコフカウンターの性能評価」、日本物理学会、2007年9月22日、北海道大学

[その他]

ホームページ等

2008 年度高エネルギー加速器研究機構主催の大学向け実習「サマーチャレンジ」に高透明度エアロジェルからのチェレンコフ光を測定する課題に利用。また、課題のチューターとしても参加。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

足立 一郎 (ADACHI ICHIRO)

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・助教
研究者番号：00249898

(2) 研究分担者

西田 昌平 (NISHIDA SHOHEI)

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・助教
研究者番号：20370075