

平成 31 年 4 月 18 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K05110

研究課題名(和文)ハイブリッド化による大口径高感度の新型光検出器の開発

研究課題名(英文) Development of new photon detector with large effective area sensitive to single photon using hybrid technology

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・准教授

研究者番号：00249898

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：素粒子原子核実験において、シングルフォトンを検出する測定器はもっとも重要な要素の一つとなっている。しかし、微小な信号を検出するため、高電圧を必要とする。大面積をこのような検出器で覆う場合、高電圧に対するシールドは常に問題となる。最近ではMPPC(Multi-Pixelated Photon Counter)と呼ばれる半導体検出器が開発され、60V程度のバイアス電圧を印加することでシングルフォトン検出が可能となった。しかし、MPPCは大型化が困難で、多くの面積を覆うには大量のMPPCが必要となる。これらの問題を解決するためにハイブリッド技術を用いて新型光検出器の開発を行ったのが本研究である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハイブリッド技術を用いて真空管内にMPPCを設置し、感度有効面積を広げ、シングルフォトン検出可能にするというアプローチは今までに考えられていなかったものである。したがって、大面積高感度を持つ光検出器の新たな分野を開拓したという点において学術的意義があると考えられる。さらに、今回用いたハイブリッド技術がこのような光検出器製造に役に立つことが判明した。社会的には既存技術を応用することで新型検出器を開発する例を示せたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In particle physics experiment, single photon detection is widely used, and is one of the most important elements in the detector system. Usually photon sensor which is sensitive to single photon needs high voltage to get sufficient gain. This could be potential worry to employ a lot of sensors in the limited space. In the meantime, MPPC was developed recent days. This device can detect single photon with low bias voltage. However, MPPC with the large cross section was not available. To overcome this situation, new photon detector was developed with hybrid technology.

研究分野：素粒子実験

キーワード：光検出器 シングルフォトン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

今日の素粒子原子核実験ではシングルフォトンの微小な信号を検出できる光センサーの重要性が大きくなっている。このような光センサーは通常では高電圧の印加することで高ゲインを得ることで信号を計測してきた。素粒子実験において大型検出器を設計・建設する場合、多数の光センサーを限られた空間に設置する必要がある。この場合、高電圧はお互いの絶縁が困難となることが多くある。また、高電圧は一般にノイズ源となる可能性が高い。最近では半導体センサーである MPPC (Multi Pixelated Photon Counter) が開発され、60V 程度のバイアス電圧でシングルフォトンの検出が可能となった。しかし、MPPC は大型化が困難で、数 mmx 数 mm 程度の面積が一般的である。このような状況から、シングルフォトンに感度があり、有効面積が大きな光検出器の開発が望まれていた。

2. 研究の目的

高電圧を印加することなくシングルフォトン検出可能で、有効面積が一般的な光電子増倍管と同程度である新型光検出器の開発が目的である。本研究では、今まで Belle II 実験の ring imaging counter の光センサーである HAPD (Hybrid Avalanche Photo-Detector) の製造で培われてきたハイブリッド技術を用いて、新型光検出器を製造する。デザインの概略は、真空管内部に MPPC を設置し、電極において光電面からの光電子を MPPC に導き、信号を読み出す。新たに製造されたこの光検出器について、量子効率、ゲイン特性などについて性能試験を行い、より高性能な検出器開発をめざすものである。さらに複数台を作ることで、個々の特性、製造の安定性なども評価し、将来の大量生産についての情報も得る。

3. 研究の方法

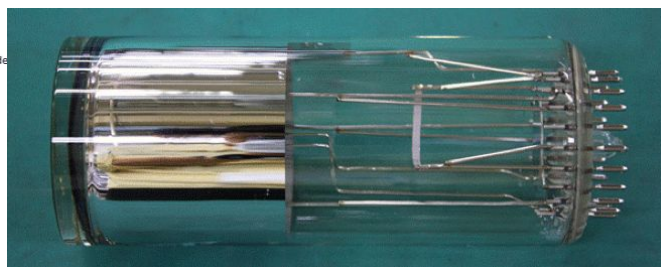
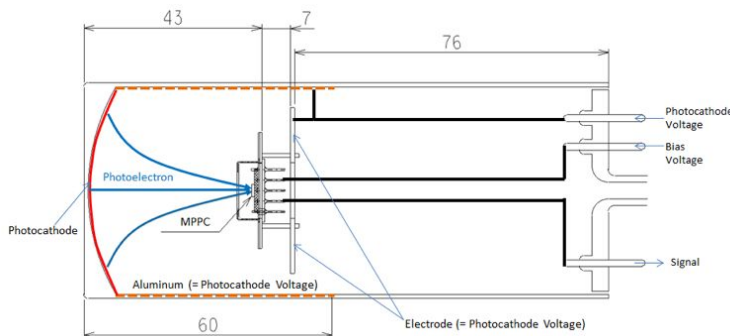
(1) シミュレーションによって、真空管の形状及びそれに設置する電極の位置の最適化と行った。電場の計算から光電子の秘跡をシミュレーションし、より効率よく MPPC に収集できる位置及び印加する電圧の情報を得る。これにもとづきプロトタイプを製造を行なった。

(2) 製作したプロトタイプについて基本特性試験を行い、性能を評価する。特にシングルフォトン検出効率はもっとも重要な測定の一つである。また、バイアス電圧や電極電圧による検出効率の依存性などを調べた。

(3) 上記で得た試験結果をフィードバックし、改善した第2プロトタイプを製造する。これの特性試験を行い、特に改善点について重点的に試験を行なった。

4. 研究成果

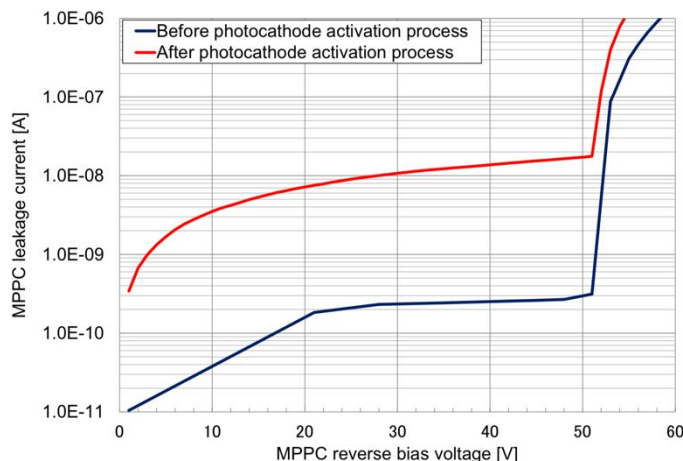
シミュレーションによって決定した新型光検出器の構造は下左図に示す。真空管は 2 インチ



の光電子増倍管から改造して使用し、MPPC へのバイアス供給ラインと光電子のガイドのための電極電圧ラインを設けた。実際に製造したプロトタイプは上右図である。

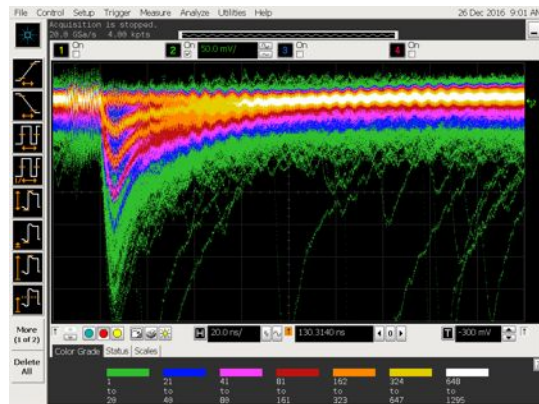
まず基本測定として量子効率の測定を行なった。そもそも量子効率が低ければ、シングルフォトンが効率よく読み出せないため、これは最も基本的なものである。結果として波長 350nm-400nm にてピークで 30% を超える測定値が得られた。これは一般的な光電子増倍管と比べても遜色がない値である。

次に MPPC の特性試験であるが、特に光電面を作成するために活性化し、アルカリを真空管内に飛ばすため、これが MPPC の性能に影響がある可能性があった。活性化の前後で MPPC の電圧特性を調べたのが右図



である。MPPC の漏れ電流は活性化後で約 100 倍増加することがわかった。これは活性化の方法を今後検討し、増加を抑える必要があることを示唆する。一方で、ベースラインは増加するが、電圧依存性自身の傾向は同じであることがわかったため、MPPC として動作することは問題ないと思われる。

シングルフォトンの信号検出を調べたのが右図である。これは 405nm の光を新型光検出器に照射した時のオシロスコープで観測した信号の写真である。この時、真空管内の電極には -1.5kV、MPPC のバイアスとして 55V それぞれ印加した。写真からわかるように、シングルフォトンの検出に成功した。さらに電極電圧については、-0.7kV に下げてもシングルフォトン信号が検出可能であることが判明した。したがって高電圧を印加することなく、シングルフォトン検出ができたことを意味する。また電極電圧の依存性を調べ、シングルフォトンの検出効率の変化を求めた。



さらに入射する光を絞った上で、光電面の位置依存性を調べるため、場所のスキャンを実施したところ、位置の依存性が見られた。これは、光電面活性化時の影響であると考えられる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Fukasawa et al. Nuclear Instruments and Methods A912, 2018, 290-293 査読有

〔学会発表〕(計 1 件)

Fukasawa, International conference on new developments in photon detection, July, 2017

〔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：
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：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：フランチェスコ・ディ・カプア

ローマ字氏名：Francesco di Capua

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。