

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05389

研究課題名(和文)半導体光検出器PPD/SiPMの紫外線応答の研究

研究課題名(英文)UV response of semiconductor photo sensor PPD/SiPM

研究代表者

中村 勇 (Nakamura, Isamu)

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・講師

研究者番号：70391703

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：紫外線は半導体(シリコン)の極表面の電場が弱い領域で吸収、キャリアを生成するため、電場により増幅領域まで運ばず、その検出は、キャリアの拡散によるものとされているが、実験的には確かめられていない。
本研究では、アルゴンが発生する紫外光に対する応答の時間構造を調べる事により、拡散による伝播か電場による運動かを区別し、紫外線応答のメカニズムを解明することを目的とした。
当初は液体アルゴンを用いることを考えていたが、取り扱いが難しいので、気体アルゴンを使うことに予定変更し、測定を試みたが、実験的に難しく、有意義なデータを取得することができなかつた。手法としては間違っていないので、継続したい。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は最近一般的になってきた半導体光検出器PPD/SiPMが紫外線に対してどのような機構で応答しているのかを明らかにするものです。
半導体光検出器を構成するシリコンの紫外線に対する吸収長は非常に短く(ナノメートルレベル)、紫外線に感度のある半導体光検出器は難しいと思われていました。
この研究により、検出器の極表面に近い場所で生成されたキャリアが、増幅領域まで伝播する機構を解明できれば、より高い紫外線に対する感度を持つ半導体光検出器が開発できるようになると思われました。

研究成果の概要(英文)：In photo sensor, UV photon is absorbed near surface where electric field is small. Hence, it is considered that generated carrier reaches to multiplication area through defusion rather than electric field. But this is not experimentally confirmed.
This study is to reveal the detection mechanism by measuring time response, that is different depending on whether defusion of not.
The original plan was to use UV light from liquid argon. But considering its difficulty of handling liquid argon, decided to use gas argon instead of liquid. However, valuable result couldn't be obtained, due mostly to technical difficulty. The idea of this study is still valid and all set up exist, I'd like to continue the study.

研究分野：素粒子物理実験

キーワード：光検出器 未完

1. 研究開始当初の背景

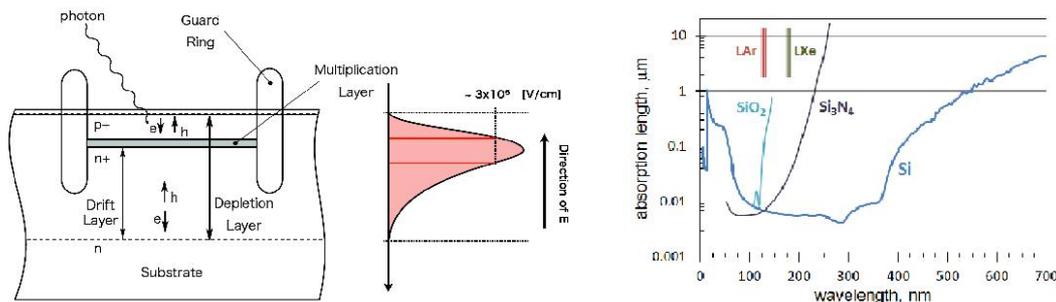
最近はかなり一般的になってきた、PPD や SiPM あるいは商品名を使って MPPC などと呼ばれる、新しいタイプの増幅機構を持った半導体光検出器は、半導体内に高い電場領域を作って、ガイガーモードでキャリアの信号を増幅するため、コンパクトで、高い増幅率を持ち、磁場不感であるなど、様々な優れた特徴を持つ。その形状から、シンチレーションファイバーなどと接続して用いられることに特に適し、素粒子実験分野では広く使われるようになっている。

従来の光電子増倍管(PMT)に代わって使われるようになると、真空紫外領域の光検出への応用が考えられるようになった。真空紫外領域の光は、液体キセノンや液体アルゴンのシンチレーション光の領域で、最近の大型暗黒物質の探索で使われ始めている。従来の PMT より小型で物質量も少ない PPD に優位性があるためである。

PPD に入射された光子はセンサーのどこかで吸収され電子正孔対を作り、センサー内部の電場で、増幅領域に運ばれる。増幅領域にはガイガー増幅をおこすため非常に強い電場がかかっている。約 100 万倍に増幅された信号が出力される。

シリコンに対する光の吸収長は波長が短くなるにつれ急激に短くなり、波長 200nm 以下の真空紫外領域では 10nm 以下しかない。このため、電子正孔対は半導体表面のごく浅いところで生成される。通常、この付近の電場は非常に弱いため、増幅領域に届かず、感度がないとされてきた。しかし、実際に感度があるセンサーが報告されていて、それは、キャリアの拡散により、電場がある領域に到達するのだと理解されているが、実験的には確かめられていない。

同様にキャリアの拡散によるとみられる現象は赤外線領域でも報告されている。赤外線領域の光は逆に吸収長が長いので、今度は半導体の深い、やはり電場の弱いところで生成されたキャリアが、拡散により増幅領域に到達し、それが、拡散による時間的遅れとして観測されるというものである。



PPD の電場構造(左)とシリコンに対する光の吸収長(右)

2. 研究の目的

本研究では、真空紫外の波長領域で、応答時間分布を測定し、拡散による遅れを測定することにより、検出原理が拡散であることを確認することを目的とする。

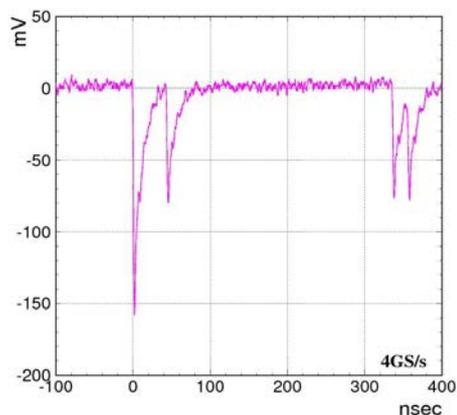
3. 研究の方法

研究に用いる光検出器は浜松ホトニクス製の真空紫外領域に感度を持つ VUV-MPPC を使う。市販されているので問題ない。光源としては、紫外光をパルス発生できるレーザーがあればよかったのだが、無かったので、真空紫外領域のシンチレーション光を発光するアルゴンをチェックソースで光らせ光源とする。レーザーとは違いタイミングを決められないので、センサーを二個用意し、タイミングの基準となる片方のセンサーには十分な光が、もう片方には平均一光子程度の光が入射するように調整して、観測時間差を測定する。

拡散の時間スケールは数十 ns から us 程度あるので、時間測定としては ns 程度の制度で十分で、この程度なら、PMT 用のアンプで信号を増幅して、1G サンプル/秒程度の波形取得装置で波形取得すれば十分な時間分解能が得られる。

4. 研究成果

本研究は実験的には光源以外の部分に難しいところはなく、初年度中に MPPC からの信号を波形取得できるところまではこぎつけた。



MPPC からの信号の例

光源としては、当初早稲田大学の協力を得て液体アルゴンを使わせてもらおうと思っていたが、より簡単な気体アルゴンを使えばよいとの助言を受け、それならば、独立して実験をできるという観点から気体アルゴンを使うことに方針転換した。

アルゴンだけでなく気体を使った検出器(ガスチェンバーなど)を製作した経験もなく、検出器を動かすのに難儀し、結局、限られた実験時間の中では、気体アルゴンを使って、真空紫外光由来の信号を MPPC から得ることができず、有意義な成果は得られなかった。

実験に必要な道具立てはそろっていて、実験の手法としては間違っていないと思うので、引き続き、信号が得られるよう実験していくつもりである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----