

機関番号：84502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21740215

研究課題名(和文) ストリークカメラ光電面の高性能化に関する研究

研究課題名(英文) Investigation about high performance photo cathode for streak cameras

研究代表者

持箸 晃(MOCHIHASHI AKIRA)

財団法人高輝度光科学研究センター 加速器部門 研究員

研究者番号：10342635

研究成果の概要(和文)：短パルス X 線を観測する X 線ストリークカメラの時間分解能の評価方法として、単一光子イベントによる時間広がり観測することによる方法を新たに考案し、時間分解能の X 線エネルギー依存性について調査した。また、光電面膜厚の時間分解能や光電子生成率依存性を調査することのできる光電面「マルチアレイ型光電面」を新たに開発した。

研究成果の概要(英文)：I have developed a new method that can determine temporal resolution of an X-ray streak camera by observing temporal spread of single photon events on the streak camera. By using the method, I have investigated dependence of the temporal resolution on the X-ray photon energy. I have also developed a 'multi array photocathode' that can investigate the dependence of the temporal resolution and the photoelectron yield on the thickness of the photocathode.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：加速器ビーム診断、ストリークカメラ、時間分解能、光電面

## 1. 研究開始当初の背景

(1) ストリークカメラは数ピコ秒の時間分解能を持つ光計測器であり、レーザーやシンクロトロン放射光などの短パルス光の計測によく用いられている。ストリークカメラは、観測する光を光電面において光電子に変換し、偏向電極板によって光電子を偏向させることで時間情報を空間的情報に変換し、極短パルス光の時間構造を測定する機器である。

シンクロトロン放射光に代表される短パルス X 線を観測するためには、X 線を観測するストリークカメラ(X 線ストリークカメラ。以下 X-SC)を使用する方法が挙げられるが、X-SC の時間分解能に関するデータや報告(時間分解能の入射 X 線エネルギー依存性など)は本研究をスタートさせる段階ではほとん

ど存在しなかったという背景があった。

(2) 電子蓄積リングによる放射光源の場合、典型的な光パルス長は数百ピコ〜数十ピコ秒であるため、既存のストリークカメラで光パルス長を観測可能であるが、電子蓄積リングでもレーザーライニングによるサブピコ秒領域のパルス光生成が行われており、さらにそれよりも高強度な数ピコ秒のパルス光生成も検討されている。また、最近研究開発が進んでいる次世代放射光源(XFEL, ERL 計画など)では、光パルス長は数ピコ〜サブピコ秒となるため、既存の計測装置では光パルスの特性評価が困難である。このため、光源と並行して光計測器の次世代化も同時に求められているという背景があった。

## 2. 研究の目的

(1) X-SC の時間分解能を評価する方法を模索する。ストリークカメラの時間分解能の評価方法としては、極短パルス光をストリークカメラに入射しその応答を測定する方法が挙げられるが、X-SC の場合、時間分解能を評価するための極短パルス X 線光源が存在しない。また、極短パルス光源が存在するとしても、X-SC への入射光強度が大きいと、光電面から発生する光電子の空間電荷効果のため光電子が広がることにより時間分解能が悪化し、正確な時間分解能の評価が困難になる。これらの問題を解決し、時間分解能を正確に評価する新たな方法を模索する。

(2) 上記(1)で述べた時間分解能の評価方法を用いて、X-SC の時間分解能の入射 X 線エネルギー依存性の有無を調査する。

(3) X-SC の場合、ストリーク像の形成に寄与するのは光入射部の光電面で発生した比較的エネルギーの高い(~keV)一次電子ではなく、一次電子が光電面内で多重散乱し発生する二次電子であり、二次電子のエネルギー広がりがストリーク像の時間分解能に寄与すると考えられる。このため、ストリークカメラ用光電面(CsI, Au)について、光電面厚みに着目し、時間分解能を向上させる光電面の条件を模索する。そのために、光電面厚み依存性を測定できる光電面を開発する。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験研究を行った環境

SPring-8 加速器診断用ビームライン (BL05SS)において、X線ストリークカメラ (浜松ホトニクス社製 C5680-06)を用いて実験研究を行った。BL05SS の光源はマルチポールウィグラーであり、磁場中を高エネルギー電子ビームが通過することにより準単色 X 線を発生させることができる。実験では、ビームラインに設置されている液体窒素冷却型二結晶分光器を用いて、準単色 X 線を分光し、単色化した X 線を X-SC に入射して測定を行った。マルチポールウィグラーのギャップ値、及び分光器のブラッグ角を調整することで入射 X 線のエネルギーを変化させ、時間分解能のエネルギー依存性などのデータを取得した。また、ビームラインのフロントエンド部に設置されている X-Y スリットや分光器を調整することにより、X-SC に入射する X 線の光量を調整して実験を行った。

### (2) 時間分解能の評価方法

研究の目的でも述べたように、X-SC の場合、時間分解能を評価するための極短パルス光源が存在しないため、装置の時間分解能を

評価することが容易ではない。そこで、X-SC の時間分解能を評価する方法として、単一光子イベントによる時間広がりの評価を着想した。X-SC に入射する X 線光量を減少させると、最終的には単一の光子によるストリーク像を観測することができる。単一光子は、パルス長並びに光量が原理的に最も小さいパルス光なので、単一光子を観測した際のストリーク像の時間広がりを観測することで、X-SC の時間分解能を正確に評価することができる。

単一光子イベントの時間広がりを観測するためのタイミング系のセットアップを図 1 に示す。実験では、X-SC にシンクロスキャンユ

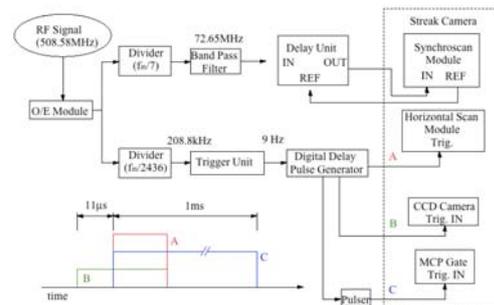


図 1 タイミング系のセットアップ

ニット(M5675)及び 2 時間軸拡張ユニット(M5679)を組み付け、SPring-8 の RF 信号(508.58MHz)をストリークカメラ動作タイミングのマスター信号として用いた。X-SC の縦方向スキャンのタイミング信号は、RF 信号を分周信号発生器で 7 分周(72.65MHz)し、バンドパスフィルターでサイン波に成形した後、ディレイユニット(C6878)を介してシンクロスキャンユニットに入力した。ディレイユニットにより、シンクロスキャンのタイミング調整ができ、かつシンクロスキャンユニットからの参照信号を用いた位相フィードバックが有効になりタイミングが安定化する。一方、水平方向掃引のトリガー信号は、RF 信号を分周信号発生器にて 2436 分周(リング周回周波数)し、更にストリークトリガーユニットで 9Hz まで分周する。分周信号をデジタルディレイパルス発生器(Stanford Research Systems, DG535)のトリガー信号として用い、DG535 は(1)CCD 露光開始トリガー(2)水平方向掃引トリガー(3)Image Intensifier (以下 I.I.)内の MCP ゲート信号の合計 3 つのトリガー信号を発生させる。CCD カメラは、トリガー信号を受信後 11µs 後に露光を開始するため、CCD トリガー信号は、MCP ゲートと水平方向スキャンよりも 11µs 先行させるようにする。使用した X-SC のストリーク管末端部の蛍光材は P43(100%→10%減衰時間 1ms)なので、単一光子イベントを分別し観測するためには、ストリーク管を通過して蛍光材に当たる光電

子に対して 1ms 以下の時間ゲートを設ける必要がある。そこで、X-SC の水平掃引ユニット (M5679) を用いて水平掃引時間を  $100\mu\text{s}$  とすることで、ストリーク管末端部の蛍光材に当たる光電子に対して  $100\mu\text{s}$  の時間ゲートを設けた。単一光子イベントをできるだけ明確に観測するため、ストリーク管下流の II. 内の MCP をゲート動作させることにより、MCP 暗電流によるバックグラウンドイベントを出来るだけ減少させるようにした。MCP ゲートは水平方向掃引スタートと同時に開とし、P43 の全発光量の 90% を収集することを目安に、ゲート幅は 1ms とした。また、II. 出力側の蛍光材も P43 なので、II. 下流の CCD カメラの露光時間は約 2ms とした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 単一光子イベントの観測

単一光子イベントを分別可能とするように各種ビームライン機器を調整して X 線光量を適度に減少させ、X-SC を二軸スキャン・シングルショットで動作させた典型的な結果を図 2 に示す。図中の○内の中央部のドットの塊として見える像が、単一光子によるストリーク像である。実際は、図 2 のシングルショット像を 1000~2000 回測定し (その大部分は単一光子イベントが観測されていない)、その後の解析で単一光子によると思われる像をピックアップして統計処理を施し、単一光子イベントの時間広がり (FWHM) の統計平均を求めた。光子エネルギー 4.5keV の場合の、単一光子イベントの時間広がり (FWHM) の統計平均プロファイルを図 3 に示す。単一光子イベントの時間広がり (FWHM) は、図 3 に示すように 4ps 程度であることが明らかとなった。

##### (2) エネルギー依存性の考察

X-SC は光電面が着脱可能であり、必要に応じて光電面を変更することができる。本実験では CsI 光電面を使用した。Cs, I はそれぞれ 5keV 付近に L 吸収端を持つことに着目し、吸収端付近、並びに吸収端から離れた



図 2 単一光子イベントの観測例。図中○内の像が単一光子によるストリーク像。

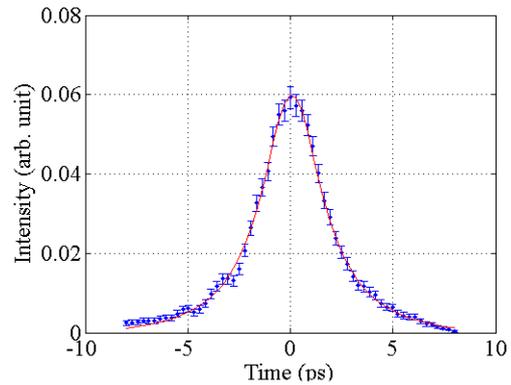


図 3 単一光子イベントの時間プロファイルの統計平均。赤線はフィッティング結果 (振幅に自由度を与えたローレンツ分布)

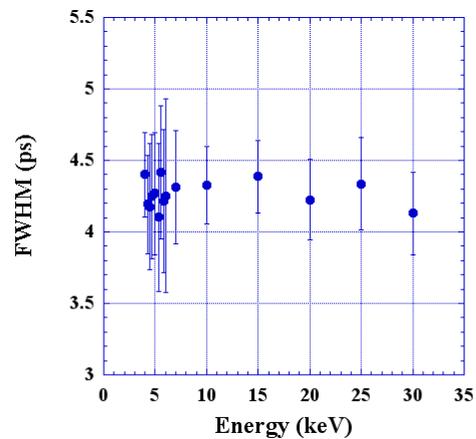


図 4 単一光子イベントの時間広がり (FWHM) のエネルギー依存性

10~30keV で測定を行い、単一光子広がり (FWHM) のエネルギー依存性を調べた。結果を図 4 に示す。図 4 は、図 3 のような測定・データ解析を複数回繰り返し、得られた FWHM 値の分散をエラーバーとしてプロットしてある。図 4 の結果から、X-SC の時間分解能はエネルギー依存性には見られず、ほぼ 4~4.5ps であることが明らかとなった。この結果は、X-SC の時間分解能の評価として初のデータであり、XFEL, ERL などの極短パルス X 線光源において必要とされるであろう高時間分解能のストリークカメラの開発にインパクトを与えるものである。また、単一光子イベントを用いた時間分解能の評価方法は、X-SC に限らず可視光ストリークカメラにも適用できるため、ストリークカメラ全般について適用可能な時間分解能の新しい評価方法と言える。

##### (3) マルチアレイ型光電面の開発

X-SC の場合、入射光子を光電子に変換する光電面は、カソードディスク電極に設けたスリット形状の穴に CsI 若しくは Au の薄膜

を取り付けたものを使用する。この薄膜に入射 X 線を照射した際、光電面薄膜より発生する光電子が、ストリーク像の形成に寄与する。X-SC の場合、使用する光子エネルギーが高いことから、光電面で発生する一次電子が薄膜内で多重散乱した結果発生する二次電子がストリーク像の形成に寄与する。このため、薄膜の厚みによって時間分解能や光電子生成率が異なる可能性がある。このことを調査するため、同一のカソードディスク電極に異なる複数種類の厚みの光電面薄膜を取り付けた「マルチアレイ型光電面」を開発した。マルチアレイ型光電面は、CsI, Au について開発し、CsI については二次電子の脱出長である 300nm を中心に 50nm, 1000nm の薄膜を作成し、Au については 30nm を中心に、10nm, 300nm の薄膜を作成した。このマルチアレイ型光電面は、同時に異なる複数の光電面を使用することができるもので、ストリークカメラ光電面としては初の試みである。マルチアレイ型光電面を用いた時間分解能や光電子生成率の膜厚依存性については、研究期間中に実施することができなかつたので、今後引き続き実験研究を行う。

#### 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)

[学会発表] (計 4 件)

① 持箸 晃「単一光子イベント観測による X 線ストリークカメラの時間分解能評価」  
第 24 回日本放射光学会・放射光科学合同シンポジウム

(2011 年 1 月 9 日、つくば国際会議場)

② 持箸 晃「SPring-8 低アルファ運転時における X 線ストリークカメラによるバンチ長計測」

第 7 回日本加速器学会年会

(2010 年 8 月 4 日、姫路市文化センター)

③ 持箸 晃「SPring-8 加速器診断ビームラインにおける X 線ストリークカメラの性能評価」

第 23 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム

(2010 年 1 月 9 日、イーグレ姫路)

④ 持箸 晃「SPring-8 加速器診断ビームラインにおける X 線ストリークカメラの性能評価」

第 6 回日本加速器学会年会

(2009 年 8 月 5 日、日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

持箸 晃 (MOCHIHASHI AKIRA)

財団法人高輝度光科学研究センター  
加速器部門

研究員

研究者番号：10342635

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：