

[P8-44]

## Improvement of Temporal Characteristics of Ultra High Speed Framing Camera for Measurement of LINAC Electron Beam

Yoshihiro ITO, Nobuhisa TONOMURA, Yasuto KATOH,  
Makoto KAGATA\*, Satoshi TOMIOKA and Takeaki ENOTO  
Division Quantum Energy and Engineering,  
Graduate School of Engineering, Hokkaido University  
Kita 13, Nishi 8, Kita-ku, Sapporo 060-8628, JAPAN  
\*Hokkaido Automotive Engineering College  
1-2, Nakanoshima 2-6, Toyohira-ku, Sapporo 062-0922, JAPAN

### Abstract

High speed camera is used for various measurements of LINAC. In this paper, by using the taper shape ETE (external transparent electrode), we propose a new time resolution improvement method of ultra high speed framing camera, consists of the proximity focused image intensifier and ETE. This method improves the simultaneity in the time in which the photoelectron arrived at MCP (micro channel plate) input plane. We decided ETE shape which made the acceleration electric field distribution that can keep the simultaneity. From computer simulation, the dispersion in the time of arrival of photoelectron was able to decreased from 30ps to 5ps or less.

### LINAC 電子ビーム測定における 超高速度フレーミングカメラの時間特性の改善

#### 1 はじめに

LINAC において超高速度カメラは、パルスラジオリシスの計測や、電子ビームモニタに用いられ、フェムト秒ストリークカメラを用いた電子パルス幅計測等が行われている。本研究室では、ビームエミッタンス計測のために、バンチ形状等の空間分布測定をシングルショットで行う X 線超高速度フレーミングカメラの研究を行っている。この外部透明電極 (the external transparent electrode: 以下 ETE) を付加した近接型フレーミングカメラは、時間分解能に優れ、シャッターリング特性を決定する ETE を容易に取り替えることが可能であり、高い自由度を持つ。LINAC のビームモニタとして可視光、及び X 線フレーミングカメラは様々な応用が考えられる。

本稿では、電子シャッター方式のフレーミングカメラにおけるシャッターリング原理上の問題につ

いて述べ、その改善法を提案する。

現在、近接型超高速度フレーミングカメラは、数 10ps の時間分解能を持つものが報告されている。これは、慣性核融合のターゲット計測、シンクロトロン放射光測定等の高速現象の計測に用いられている。ただし、数 10ps ~ 100ps の時間では、シャッターリングパルスの伝搬時間に起因する画像の同時性のずれが無視できなくなる。対策として、画像取込部となる電極を縮小することが行われているが、フレーミング方式の利点である空間解像度が損なわれる。また従来は、画像各点での同時性、及び MCP に到達する光電子の到達時間の同時性が損なわれることについてはほとんど言及されていない。

本稿では、シャッターリング用加速電界の時間・空間分布により、光電子の飛行時間を制御することで、MCP に到達する光電子の到達時間の同時性を高めることで時間分解能を改善することを目

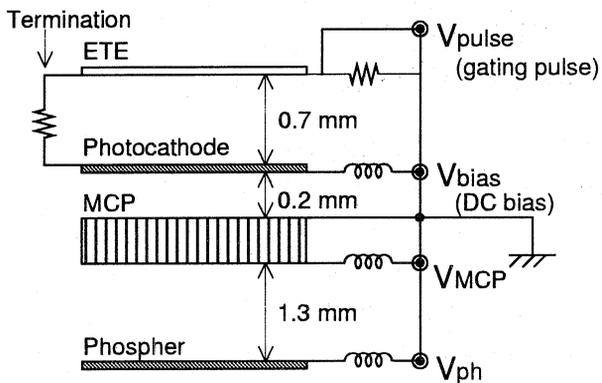


図 1: ETE を付加した近接型高速度カメラ

的としている。

## 2 同時性改善

近接型光増幅素子を用いたフレーミングカメラは、光電面、MCP(micro channel plate)、蛍光面より構成され各々が極く近接した位置に置かれている。これに ETE を付加し時間特性の改善を行った [1]。図 1 に本カメラの構成を示す。ETE を付加することで、光電面はシャッターリング特性を決定する要因ではなくなり、ETE の面抵抗、形状によって、光電面下の加速電界分布の時間応答特性が決定される。加速電界分布を空間各点の光電子の同時性が保たれるように形成する ETE の形状をテーパ形状として最適化する。

2次元の FD-TD 法 (finite-difference time-domain method)[2] を用いて、解析を行い加速電界分布を求め、その分布での、光電子の飛行時間分布を求めた。図 2 に解析体系を示す。光電子は、波長 600nm の入射光により単一速度で光電面から垂直に放出されるものとした。シャッターリングパルスは、 $-900\text{V}$ 、半値幅 100ps のガウシアンパルスを加した。結果として、10mm 程度の電極において、到達時刻のずれは 5ps 以下に抑えられることが得られた。図 3、4 にシミュレーションの結果を示す。

図 3、4 において、横軸は光電面での電子の放出時刻であり、縦軸は電子の飛行時間、及び電子の放出位置をパラメータとしている。図 3 は、ETE の形状を一様とした場合の結果である。図 4 は、

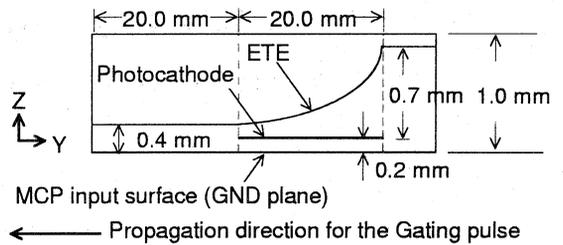


図 2: 解析体系 (2次元 FD-TD モデル)

ETE をテーパ形状にした場合である。印加した DC 逆バイアスは、それぞれ 540V、720V である。(逆バイアス値が異なるのは、テーパ形状でない ETE の場合、720V の電圧を印加すると光電子は MCP に到達できない理由による) 図の右下に ETE の形状を示す。画像取込部 (MCP 入力面の右側) から、それぞれ 2mm、4mm、6mm、8mm、10mm の場所での結果を示した。図 3 では、シャッターリングパルスの伝搬時間にしがって MCP 入力面への到達時刻が遅くなっていくことがみてとれる。この場合、到達時刻のずれは、30ps 程度生じる。各ピークの横軸方向のずれは、シャッターリングパルスの伝搬時間による。図 4 では、加速電界分布により光電子の飛行時間が制御され、到達時刻のずれは、ピークにおいて 5ps 以下である。この結果より記録領域が 10mm 程度であれば、5ps 程度まで同時性を改善できる。図 4 の横軸方向のずれは (画像の同時性) は、光学系を用いて補正可能である。また、本手法を積極的に利用するとストリーク的にも使用可能である。

従来、30ps 程度生じていたずれが 5ps 以下に軽減でき、MCP 入力面に同時に電子が入射することが可能となり、この時点で MCP の各チャンネルにおいて同時にアバランシェ現象を起こすことで更なる時間分解能の向上がはかれる。また、近接チャンネル同士の影響を軽減させることができ、シャッターリング画像の質の向上をはかることが可能である。

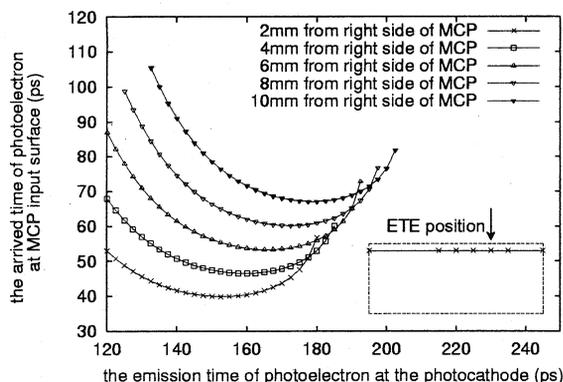


図 3: 解析結果 (電界制御無し)

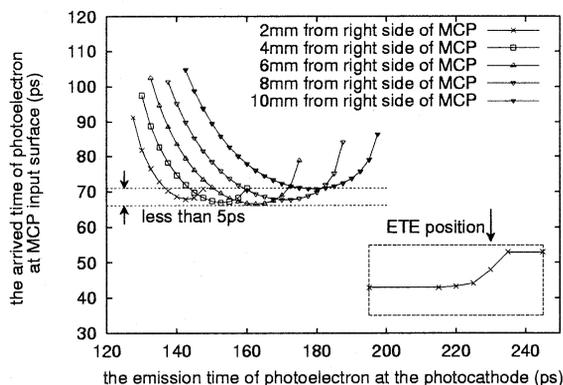


図 4: 解析結果 (電界制御有り)

### 3 今後の課題

#### 3.1 ETE 形状の最適化

今回の ETE 形状は、反復計算から結果が良好であったものであり、最適化がなされたものではない。特に、逆バイアス値が、シャッタリングパルスと比較して高いので、パルスの歪み等に影響を受けやすい。決定するパラメータは、ETE の位置と形状、逆バイアス値である。今後、上記のパラメータの最適化を行うアルゴリズムを組み込み ETE 形状の決定を行う。

また、光電子の放出分布、速度分布への影響を評価し空間解像度への影響を調べる。

### 3.2 測定への応用

測定への応用として、冒頭で述べた X 線近接型超高速カメラによるビームバンチ形状の測定を行っている。

可視光カメラの応用としては、電子ビームが空気中等でチェレンコフ放射を生じることから、その放射分布を測定することが考えられる。本稿のカメラはフレーミング方式であるので、測定画像は積分された画像となるが、これを逆問題的に処理できれば電子ビームのマイクロパルス幅の推定が行える可能性がある。

## 4 まとめ

本稿では、ETE を付加した超高速フレーミングカメラのシャッタリング特性の改善手法を提案し、数値シミュレーションにより有効性を示した。従来では、30ps 程度生じた到達時刻のずれを、5ps 以下に減少することができた。また、ETE 形状の最適化を行うことにより、さらに性能を向上させることができると考える。

また、印加パルスが作る磁場効果を考慮し、MCP をコリメータとして扱えば、磁場により曲げられた光電子を入射角度でフィルタリングできる。これにより時間分解能を向上させることが期待でき、検討を行っている。

現在、本稿の手法を適用したカメラを試作しており、チェレンコフ光を撮影する実験により検証を行う予定である。

### 参考文献

- [1] 加賀田 誠, 富岡 智, 榎戸 武揚, "FD-TD 法による超高速カメラのシャッタリング特性の解析", 電学論 A, 117, 22-28 (1997-1)
- [2] Gerrit Mur, "Absorbing Boundary Conditions for the Finite-Difference Approximation of the Time-Domain Electromagnetic-Field Equations", IEEE trans. Electromagnetic Compat., vol. EMC-23, No.4, pp.377-382 Nov.1981