

## 超高速光計測用ストリーク管の開発に関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 木下, 勝之 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1441">http://hdl.handle.net/10297/1441</a>

氏名・(本籍)	木 下 勝 之 (静岡県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博甲第 224 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規程第 5 条第 1 項該当
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子応用工学
学位論文題目	超高速光計測用ストリーク管の開発に関する研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授	中 西 洋 一 郎	教授 長 村 利 彦
	教授	田 部 道 晴	
	教授	畑 中 義 式	

## 論 文 内 容 の 要 旨

超高速光計測用ストリーク管について、新しい構成や、電子レンズ系、動作方式等を提案し、管の設計、試作、評価を行った。その結果、世界一の性能を有する多くの管を開発し、実用に供することができた。また、管の時間分解能を始めとする重要な諸特性について独自の手法を用いて解析し、新たな知見を得た。さらに、その成果を用いて、管の諸特性を改善し、計測デバイスとしての完成度を高めた。以下に項目に分けてそれらの概要を示す。

1. 従来のイメージインテンシファイヤー(I.I.)結合型ストリーク管に対して、マイクロチャンネルプレート(MCP)を内蔵した小型高感度ストリーク管を試作し、I.I.を不要とし低電圧駆動の操作し易い世界最小のストリーク管の構成を可能にした。また、その特性の解析・評価を行い、両者を比較することにより、その得失を明確にした。
2. ストリーク管の時間分解能について、数 ps より高い時間分解能の領域では従来の解析方法が不十分であることを示し、その領域でも適用できる新しい解析方法を提案した。その結果、光電子の走行時間広がりや偏向場により生じる時間広がりについて新しい知見を得た。これらの成果を基に、独自の電子レンズ系や動作方式を用いたストリーク管を提案し、単発掃引で180fs、シンクロスキャンで660fs という世界最高の時間分解能を達成した。さらに、フェムト秒ストリーク管の光強度依存時間広がりについて、実験とコンピューターシミュレーションにより解析した。シミュレーションに関しては、電子雲の形が刻々と変わっていく過渡状態で初めて解析を行った。その

結果、その広がり、空間電荷効果だけでは説明でき、その大半は、光電面と偏向電極の間の空間電荷効果により電子雲が管軸方向に広がることにより生じること、管軸上での広がりの増加は、光電面一偏向電極間の走行中の継続したクーロン反発力の時間的積分効果によるものであることがわかった。この結果に基づき、光電面から放出された光電子ビームを、加速電極により加速した直後に掃引する方式を考案、管を試作し、ダイナミック(D)レンジを改善できた。

3. ストリーク管では、出力面上で掃引方向(時間軸)に垂直な方向(空間方向)の被計測光の位置情報は保存されるので、同時多チャンネル計測や時間分解分光計測が可能である。この空間方向の特性を改善した。第一に、空間方向の情報容量を増すために光電面上の空間方向の有効長が25mmの大口径ストリーク管を試作した。紫外線領域用のUVガラスやMgF<sub>2</sub>窓も簡単に適用できる平面型光電面でも、周辺まで高解像度・低歪みにできるように二つの集束電極からなる静電集束電子レンズを用いることで、その有効長にわたり空間方向、時間方向ともに良好な特性を得ることができた。第二に、吸収時間分解分光計測やレーザー核融合等の計測で要求される数10ps～数100psの時間分解能の領域で、空間方向の情報容量が大きい上に、光パルスの強度が増した時、時間分解能の劣化が少ないすなわち高Dレンジな特性を併せ持つ管を試作した。プリフォーカスレンズと主集束レンズからなる二つの電磁集束レンズを用いる工夫をしたもので、光電面有効長18mmにわたって空間方向、時間方向ともに良好な特性を有するとともに、10<sup>5</sup>という高Dレンジを達成した。第三に、2psストリーク管などの静電集束型ストリーク管の空間方向に依存した時間歪みが、光電面の空間方向の各点からの主軌道光電子の偏向電極までの走行時間の差により生じることを明らかにし、光電面を凹面にしてその曲率を最適化することによりその特性を改善した。
4. ストリーク管の計測精度を支配する雑音特性について、その解析とその改善を行った。第一に、MCP内蔵型ストリーク管とI.I.結合型ストリーク管の雑音指数を理論および実験から求め、管の構成方式やその各要素との関連を明らかにした。さらに、両方式について比較し、雑音指数がI.I.ファイバー結合型ストリーク管、MCP内蔵型ストリーク管、I.I.レンズ結合型ストリーク管の順に良いことや、MCPの入射面の二次電子放出比や開口比を大きくするなどの雑音指数改善の方向を示した。第二に、バックグラウンド(BG)ノイズの発生源の確認とその低減対策を行った。これにより、高電圧、高電界、光電面暗電流、電極からの反射、散乱、二次電子放出、光電面透過光等によるBGを大幅に改善できた。また、シンクロスキャンストリーク管の偏向電極に掃引用高周波電圧を印加した時発生するBGがマルチパクターリング放電によるものであることを明らかにして、電極構造を工夫することによりそれを除去した。第三に、同時多チャンネル計測や蛍光寿命計測で問題となる隣接領域間のクロストークについてその発生メカニズムを明らかにし、それを一桁以上低減できた。
5. MCPを複数枚用いることにより、より高感度なシングルフォトンが検出できるストリーク管を試作した。光電面作成時のアルカリ金属蒸気によるMCPの暗電流増加の問題が生じたが、アルカリ蒸気阻止シャッターによりそれを解決した。これにより、ピコ秒領域での光子統計等を可能にした。また、ストリーク管の感度領域を可視光から赤外線、軟X線等の不可視光領域に広げた。そ

のために管体構造等の工夫を行った。さらに光のみならず中性子ストリーク管の検討を行い、それが実現可能であることを確認した。

6. 以下に示すような新しい動作方式の超高速光計測用イメージ管を考案・試作し、従来にない優れた機能を引き出すことができた。①従来の大型のシンクロスキャンストリーク管を、MCPを内蔵させて小型の扱い易い管とした。さらに、長楕円掃引方式を考案し、戻り掃引時の信号の重なり除去を容易にした。これは比較的長い裾引きを有する蛍光寿命等の計測精度を向上させた。②偏向電極に入射する光電子ビームを数 keV の低速にするとともに、進行波型偏向電極を用いて掃引することにより、数 10Vp-p という超低掃引電圧での駆動を可能とした。これによりストリーク管の駆動を容易にした。③光電面のそばの加速電極にスリット電極を採用し、出力蛍光面の前にもスリット電極を設けて、掃引光電子ビームをサンプリングするストリーク管を試作した。この出力を光電子増倍管(PMT)で読み出すことにより、安価で、 $10^5$ 以上の大きな D-レンジを持つサンプリング光オシロスコープを可能にした。④2種類の超高速時間分解イメージング方式を考案・試作した。一つは、光電面からの光電子像を、偏向電極により MCP 入力面上に順次配列すると同時に、シャッター動作を MCP のパルス電圧印加によるゲーティングにより行うものである。もう一つは、全く新しい動作原理の偏向中心結像—掃引シャッター方式の高繰り返し超高速シャッター管で、電子管としては、15psという世界最短のシャッター時間を得ることができた。

## 論文審査結果の要旨

ストリーク管は超高速の光の現象を観察するために開発されてきた電子管であるが、真空中における電子の高速走行に関する様々な影響下での動作であるために、動作の理論的検討及び設計法に関して不明の点が多くあった。本論文は、ストリーク管全般にわたり理論的検討と実験的実証を纏めたものである。

第1章では序論として、超高速測光の歴史的背景とストリーク管の発展の経緯を述べ、本研究の位置づけを与えている。2章ではストリーク管の動作原理と基本的な事柄、即ち、計測デバイスとして要求される特性、計測限界の意味など超高速現象を取り扱うのに必要な事柄を述べている。

第3章では、ストリーク管の時間の時間分解能の解析と実験結果について述べている。解析の方法として、電子軌道解析によるシミュレーションにより、光電子の初速度分布、走行時間広がり、偏向場における影響など区別して、その影響の範囲を明らかにした。さらに、フェムト秒領域では、光強度依存時間広がり空間電荷効果に起因すると考え、過度状態での電子の運動を解析した。この領域での時間広がり空間電荷効果でほぼ説明できる事が示された。これらの成果を基に、独自の電子レンズ系や動作方式によりストリーク管を設計製作し、単発掃引動作で180fs、シンクロスキャン動作で660fsという世界最高の時間分解能を達成したことが述べられている。

第4章では、ストリーク管の空間方向特性について述べている。管の出力面上で掃引方向(時間軸)に垂直な方向(空間方向)の被計測光の位置情報特性は保存されるので、同時多チャンネル計測や時間分解分光計測が可能である。この目的のために、大口径ストリーク管の試作、紫外線領域に及ぶ広波長域窓材のストリーク管等が試作され空間方向性の応用が述べられている。

第5章ではストリーク管の雑音特性について述べられている。イメージインテンシファイヤー(I.I.)等、増倍機構を導入すると雑音指数の点では、悪くなるが、高速計測のためには時間当たりの光子数又は電子数が少なくなるために何らかの増倍機構の導入が必要となる。6章では高感度化のためにマルチチャンネルプレート(MCP)が導入され、世界最小のストリーク管の実現を可能にした経緯が述べられている。

第7章では、前章までに入らない新しい動作方式の超高速測光用イメージ管について述べている。楕円掃引ストリーク管、サンプリングストリーク管等の他、2次元像の超高速時間分解の出来るフレミング管についても述べられている。

第8章は結論で、本研究の総括と、本研究の成果の応用と今後の展望が述べられている。

以上要するに、超高速測光用のストリーク管開発の理論的、実験的研究を総合したものである。この分野の科学技術に大きく貢献するものであり、博士(工学)の学位を授与するに十分なものである事を認定する。