

氏 名	佐 藤 公 則
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年3月24日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	高時間分解能分光計測システムとその応用に 関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 高 木 相
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 高 木 相 東北大学教授 稲場 文男 東北大学教授 水野 皓司

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

現在、光には様々な種類があり、その光源の解析には必ず分光分析が用いられる。光源には時間変化を伴う過渡的な光源も少なくなく、それらの解析には時間分解して分光分析することが要求される。一般的に、これらの光源観測のためのマルチチャネル分光計測システムも実現しているが、その用途が限られているため、汎用性がなく、様々な光源計測に応用しにくい欠点がある。

したがって本論文の目的を、時間変化を有する光源の作用、効果、物理現象、動特性を分光分析の観点からとらえるため、エレクトロニクス技術を応用した高時間分解能分光計測システムを開発し、新しい観点から様々な光源の解析に利用してゆくこととした。

### 第 2 章 分光計測法とその装置に関する従来の研究

本章では、分光計測法とその装置に関する研究について概観し、従来の分光計測装置に関する課題、問題点を明確した。特に、

- (1) 波長分布(時間積分)の情報取得に関する装置では、時間変化を伴う光源を解析できないこと。
- (2) 時間変化(一波長のみ)の情報取得に関する装置では、光源に多くのスペクトルが混在している場合、その相互関係が明確に解析できないこと。

(3) 波長分布とその時間変化の両情報を取得する装置に関しては、波長分解能、時間分解能に限界があること。

などを明確にし、時間分解能をもつマルチチャネル分光計測システムに対する要求を整理した。

### 第3章 CCDイメージセンサを用いた分光計測システム

本章では、CCDを用いた時間分解能をもつマルチチャネル分光計測システムについて検討した。前半では、CCDを用いた分光系について、光学系とCCDの諸元から検討を加え、最適な分光系の設計を行った。その結果、CCDを用いた分光系の場合、CCDの有効画素長、可視光全域にわたる測定波長範囲などを考慮すると、波長分解能は約0.3nm(1画素あたり)であることを示した。さらに、波長、時間分解能の両立した分光系を実現するには、高感度を有するCCDが要求されることも明確にした。

後半では、実際にCCDを用いたマルチチャネル分光計測システムを2つ開発した結果を述べた。時間分解能を重視したシステムでは、波長分解能が約3nmとなり、スペクトルの分離、波長の同定の2点で課題を残した。波長分解能を重視したシステムでは、最適な分光系の実現に成功したが、時間分解能が2msに低下し、高速走査ができない点で課題を残した。アーク光の計測に応用した結果、コンタクトアークの放電光の3次元可視化に成功し、Ag-Pd合金コンタクトアークの放電形態の1部を解析することができ、満足できる成果を得た。一方、AgとPdコンタクトアークに共通するスペクトルの存在を確認したが、同定までには至らなかった。

### 第4章 高時間分解能分光計測システム

本章では時間分解能、波長分解能ともに向上を目指し、受光素子として高感度CCDを用いた新たな分光計測システムについて述べた。ここで第3章で課題となっていた、各分解能の両立した最適な分光系がはじめて実現できた。

システムの性能は、従来実現し得なかった波長分解能0.2nm、時間分解能90 $\mu$ sが実現できた。本システムは被測定光の性質に応じ、波長分解能は0.2~0.63nm、時間分解能はCCDの取得画素を制御することにより90 $\mu$ s~1msの間で自由に選択でき、幅広い光計測に対応できるものである。また、最高速走査時間(時間分解能)は23 $\mu$ sであることを示したが、これはA/D変換器に依存している値で、さらに分解能を向上させる手段として、10~12bit、変換時間が数百nsを有するA/D変換器が要求されることを示した。(図1にシステムの構成を示す)

### 第5章 コンタクトアークの分光計測への応用

本章では、コンタクトアークの分光計測へ応用した例について述べた。ここで得られた主な成果を整理すると、以下のようになる。

- (1) AgとPdコンタクトアークにおいて、従来観測し得なかった新たな電極原子スペクトルの発見ができた。
- (2) 421nmのCNと590nmのNaスペクトルは、AgとPdコンタクトアークに共通するスペクトル

ルであることが同定できた。(図2にAgとPdアークスペクトルを示す)

- (3) Naの放電形態を時間分解して解析した結果、電極原子とは全く異なった形で放電に関与していることが明確になった。
- (4) 421nmのCNスペクトルには、金属原子のスペクトルが含まれているため、421nmのスペクトルは金属原子の振舞いと似ている。今後CNの放電に与える影響を検討するには、電極原子の光強度を差し引いて考えてゆく必要がある。

第3章において明確にすることができなかった、電極原子以外の元素に関するデータを取得でき、アーク放電に関する研究を、その物理現象が解析できる段階にまで発展させることができた。今後、さらなるデータの蓄積により、コンタクトの開閉動作回数によってアークスポットの材料分布がいかなる変化をするかなどが明確になり、放電モデルの確立がなされ信頼性のあるコンタクトを設計することができよう。

## 第6章 半導体レーザの分光計測への応用

本章では、半導体レーザのスペクトル解析へ応用した例について述べた。半導体レーザの縦モードスペクトルの注入電流依存性や、電流変調時における縦モードスペクトルを、光強度、波長、時間の3方向という新しい観点から解析することができた。特に、

- (1) 注入電流による発振波長の変化をリアルタイムで観測できること。
- (2) 光強度変調方式によるスペクトルを観測し、縦モードの移行を検討した結果、発振波長が不安定であるため、この方式では、半導体レーザのコヒーレント性を活用できないこと。

などが成果として挙げられる。

また、現在光通信分野で問題となっているモードホッピング雑音を計測した結果、以下に示す成果が得られた。

- (3) 高時間分解能をもってその瞬間をとらえ可視化することに成功した。(図3にモードホッピングの様子を示す)
- (4) 従来観測し得なかったモードホッピング現象を光強度雑音、波長ゆらぎ雑音という2つの観点から解析ができた。

また、このモードホッピング現象では2つのモード(発振周波数)でスイッチングを生じることから、これを積極的に利用することを試みた。そして、半導体レーザのコヒーレント性を用いるFSK光通信の実現に向けた基礎実験を行った結果、

- (5) 矩形波、正弦波によって電流変調させた場合、最大値を与える画素番号(波長に相当)にデジタル2進符号の“1”、“0”を対応させることにより、FSK光通信が実現可能であること。
- (6) 受光部としてAPDアレーを用いれば、高速復調、任意の波長推移に対応できること。

などを示すことができた。以上の成果をふまえ、復調部で分光し、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を独立して受光するシステムを構成し、モードホッピングを用いたFSK光通信を本格的に研究してゆく必要がある。

さらに、半導体レーザを用いた光計測、光センサなどへの応用について検討を行い、

- (7) 応力歪み効果により、半導体レーザの共振器長が変化し、縦モードスペクトルが短波長側に移

行すること。

を実験的に証明した。この新しい特性を利用し、

(8) 半導体レーザを用いた圧力センサ。

(9) 応力歪み効果を用いた光変調器への応用。

などの可能性を示唆することができた。

本章で行った時間情報を含めた半導体レーザのスペクトル解析により、半導体レーザの応用分野が拡張できるのではないかと考えられる。

## 第7章 結 論

第1章から第6章までの研究成果を総括し、結論とした。

本論文は、時間変化を伴う光源を解析したいという要求に応え、高速度の時間分解能をもつマルチチャンネル分光計測システムを開発することに目的を定め、その実現に成功した。そして、本分光計測システムをコンタクトアークの分光計測と半導体レーザの分光計測に応用した。その結果、本分光計測システムが、高速な時間変化を有する光源解析装置=光・トランジェント・スペクトラム・アナライザとしての性能を十分備えていることを確かめ、得られたデータからは、従来明らかでなかった多くの知見や可能性を導き出すことができた。今後、様々な光源の物理現象や動特性を、時間情報を含めた形で、分光分析することにより、さらに応用分野は拡がり、新しい知見を得ることができると考えられる。

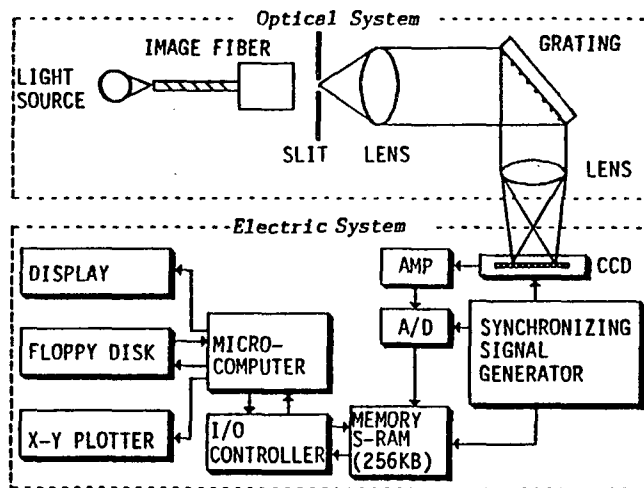
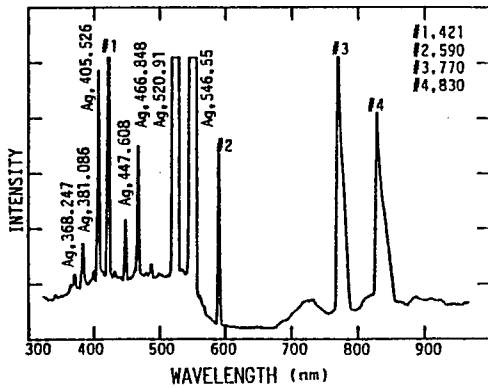
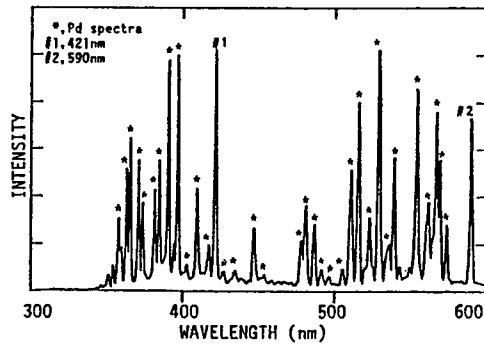


図1 高時間分解能分光計測システムの構成



(a) Ag アークスペクトル



(b) Pd アークスペクトル

図2 Ag, Pdコンタクトアークの分光測定例  
 (# 1 = CN スペクトル, # 2 = Na スペクトル)

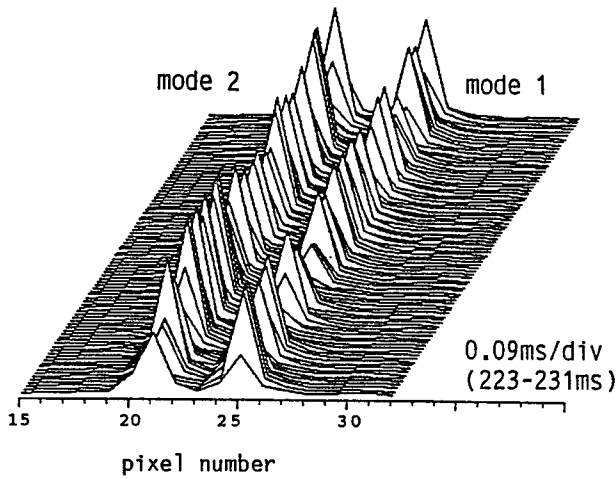


図3 モードホッピングの様子

時間分解能 = 90  $\mu$ s  
 波長分解能 = 0.2 nm/plxel

## 審査結果の要旨

分光計測技術は科学計測の中でも重要な技術として従来より広い分野に使われて来た。そして、その技術も高度化しつつある。しかし、これまでの分光計測装置は時間変動を伴う光源の分析に適用し得るものが少なく、アークの放電の過渡現象等の解析には不便であった。著者は受光部にCCDイメージセンサを用いた、時間分解能をもつ新たな分光計測システムを開発し、コンタクトのアーク放電とレーザダイオードの光スペクトル分析に応用し、有用な知見を提供した。本論文はこれらの成果をとりまとめたもので全編7章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、分光計測法とその装置に関する従来の研究を概観し、時間分解能をもつ分光計測システムの必要性とこのシステムに要求される事項について述べている。

第3章では、受光素子にCCDイメージセンサを用いた分光計測システムの設計に関する基礎考察を行っている。次いで、時間分解能を重視したシステムと波長分解能を重視したシステムを試作し、コンタクトアークの分光分布に利用してその長を明らかにしている。

第4章では、前章の考察と試作実験から、高性能のCCDイメージセンサを用い、その性能を最大限に活用した、高時間分解能分光システム（時間分解能  $90\ \mu\text{s} \sim 1\ \text{ms}$ 、波長分解能  $0.2 \sim 0.63\ \text{nm}$ ）を開発した結果について述べている。

第5章では、本システムを用いて、Ag-Pdコンタクトの開離時におけるアーク光を分析した結果について述べている。ここで、Ag-Pdに固有のスペクトルの他に、両者に共通した、スペクトルが存在することを見出し、これがCNとNaのスペクトルであることを同定している。このことはここではじめて明らかになったもので、有益な知見である。

第6章では、本システムをレーザダイオードの分光計測に応用した結果について述べている。すなわち、発振波長の注入電流依存性、機械的歪による発振モードの移行現象などを観測するとともにモード移行現象を利用したFSK通信や力センサなど、レーザダイオードの新たな利用の可能性を示唆している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、高い時間分解能をもつ分光計測システムを開発し、従来測定困難であった、時間的に変動する光スペクトルを容易に計測することを可能ならしめ、コンタクトのアーク放電現象やレーザダイオードの発振特性の解析に適用して、有用な知見を加えた結果を述べたもので、計測工学ならびに電子工学の発展に資するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。