

Title	Nonlinear Optical Microspectroscopy Based on Two-Photon Absorption and Stimulated Emission Processes
Author(s)	磯部, 圭佑
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48443">https://hdl.handle.net/11094/48443</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	磯部圭佑
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 21123 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科物質・生命工学専攻
学位論文名	Nonlinear Optical Microspectroscopy Based on Two-Photon Absorption and Stimulated Emission Processes (2光子吸収と誘導発光過程に基づく非線形光学顕微分光法)
論文審査委員	(主査) 教授 伊東 一良  (副査) 教授 福井 希一    教授 兼松 泰男    教授 金谷 茂則 教授 福住 俊一    教授 宮田 幹二    教授 菊地 和也 教授 高井 義造    教授 渡部 平司

### 論文内容の要旨

本論文では、2光子電子共鳴効果により励起波長依存性をもつ像コントラストを得る新しい非線形光学顕微分光法の研究について述べた。2光子励起蛍光(TPEF)顕微分光法と同様に、信号が2光子電子共鳴により増強される誘導パラメトリック発光(SPE)顕微分光法を提案した。2光子吸収が生じる励起波長を用いることにより、蛍光分子だけでなく蛍光を発しない分子も可視化可能であることを示した。3種類の実用的なSPE顕微分光システム(マルチスペクトルSPE顕微鏡、スペクトル干渉SPE顕微鏡、高速SPE顕微鏡)を構築し、各システムの有用性を実証した。さらに、マルチスペクトル技術を2光子励起蛍光顕微分光法へも応用した。

第1章において、超短光パルスと媒質の相互作用について述べ、非線形光学顕微鏡の利点について概説した。信号を効率よく発生させるためには、パルス幅の短い超短光パルスを用いた方がよいことを示した。また、3次元光学的伝達関数を用いることにより、非線形光学顕微鏡の3次元分解能を示した。

第2章においては、新しい非線形光学顕微分光法として、2光子電子共鳴により増強された4光波混合(FWM)過程に基づく誘導パラメトリック発光(SPE)顕微分光法を提案し、原理を説明した。蛍光色素を用いて、SPE顕微分光法の原理を実験的に確認し、細胞イメージングへの応用として、無染色茶葉のSPE像を取得した結果について示した。

第3章では、励起波長依存性を一括取得可能なマルチスペクトルSPE顕微分光法について述べた。まず、超短光パルスを長さ4.5mmのフォトニック結晶ファイバーへ入射させることにより、700nmから950nmの広帯域光パルスを発生させた結果について示した。発生させた広帯域光パルスをSPE顕微分光法の光源として用いることにより、励起波長依存性を示すSPEスペクトルを一括取得し、SPEスペクトル形状から試料の識別が可能であることを示した。

第4章では、スペクトル干渉誘導パラメトリック発光(SI-SPE)顕微分光法の有用性を示した。SI-SPE顕微分光法により、ショット雑音限界検出を達成した結果について示し、SPE信号の高感度検出が可能であることを示した。さらにスペクトル帯域の重なるSPE信号とTPEF信号の分離に成功した結果について示し、SPE像とTPEF像の同

時取得が可能であることを示した。

第5章においては、複数種類の蛍光分子を可視化可能なマルチスペクトル2光子励起蛍光顕微分光法について述べた。第3章において発生させた広帯域光パルスを用いて、3色のTPEF像を同時に取得可能であることを示した。

第6章では、ブラウン運動中の粒子の追跡方法について示した。体積 $10\mu\text{m}^3$ の3次元像を50msで取得可能な高速SPE顕微鏡により、粒子の3次元追跡が可能となることを示した。粒子の時系列像を取得することにより、粒子の軌跡から拡散係数、溶媒の粘性、粒子の大きさを推定可能であることを示した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、3次元空間分解能をもち、低侵襲的で高感度な新しい光学顕微分光法を目指して、2光子電子共鳴により信号が増強される非線形光学顕微分光法、誘導パラメトリック発光(SPE)顕微分光法を提案し、3種類の実用的なSPE顕微分光システム(マルチスペクトルSPE顕微鏡、スペクトル干渉SPE顕微鏡、高速SPE顕微鏡)を構築し、各システムの有用性を実証した結果をまとめたものである。

第1章では、本研究の背景について述べている。超短光パルスと媒質の相互作用について述べ、非線形光学顕微鏡の利点について概説している。

第2章では、新しい非線形光学顕微分光法として、2光子電子共鳴により増強された4光波混合(FWM)過程に基づくSPE顕微分光法を提案し、その原理を説明している。蛍光色素を用いて、SPE顕微分光法の原理を実験的に確認し、細胞イメージングへの応用例として、無染色茶葉のSPE像を取得し、有用性を明らかにしている。

第3章においては、励起波長依存性を一括取得可能なマルチスペクトルSPE顕微分光法について述べている。超短光パルスを長さ4.5mmのフォトニック結晶ファイバーへ入射させることにより、700nmから950nmの広帯域光パルスを発生できることを明らかにしている。発生させた広帯域光パルスをSPE顕微分光法の光源として用いることにより、励起波長依存性を示すSPEスペクトルを一括取得し、スペクトル形状から試料の識別が可能であることを示している。

第4章では、スペクトル干渉誘導パラメトリック発光(SI-SPE)顕微分光法の有用性を示している。SI-SPE顕微分光法により、ショット雑音限界検出を達成し、SPE信号の高感度検出が可能であることを明らかにしている。さらにスペクトル帯域の重なるSPE信号と2光子励起蛍光(TPEF)信号の分離に成功した結果について示し、SPE像とTPEF像の同時取得が可能であることを述べている。

第5章においては、複数種類の蛍光分子を可視化可能なマルチスペクトルTPEF顕微分光法について述べている。第3章において発生させた広帯域光パルスを用いて、3色のTPEF像を同時に取得可能であることを示している。

第6章では、ブラウン運動中の粒子の追跡方法について述べ、体積 $10\mu\text{m}^3$ の3次元像を50msで取得可能な高速SPE顕微鏡により、粒子の3次元追跡が可能となることを明らかにしている。

以上のように、本論文は2光子電子共鳴により信号が増強される非線形光学顕微分光法をまとめたものであり、その成果は応用物理学、特にフォトニック情報工学の今後の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。