

Title	STM発光分光法を用いたCNTおよびフタロシアニン薄膜の発光特性に関する研究
Author(s)	植村, 隆文
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/219
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏 名	うえ 植 村 たか 隆 ふみ 文
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 2 0 0 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科精密科学・応用物理学専攻
学 位 論 文 名	STM 発光分光法を用いた CNT およびフタロシアニン薄膜の発光特性に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 桑原 裕司 (副査) 教 授 安武 潔 教 授 森田 瑞穂 教 授 片岡 俊彦 教 授 山内 和人 教 授 渡部 平司 教 授 遠藤 勝義

論 文 内 容 の 要 旨

本研究の目的は、室温・大気中で動作する走査トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscope ; STM) をベースとした STM 発光分光システムを構築し、ナノスケール構造の光物性評価を行うと共に、本計測法をより多くのナノスケール構造へと適用可能な手法へと発展させるために、計測法の高感度化を達成することである。本論文ではシステムの構築から動作確認、性能評価に関して、ナノスケール構造の計測の一例としてカーボンナノチューブ (Carbon Nanotube ; CNT) からの STM 発光分析の結果、そしてプラズモン増強効果を用いた STM 発光分光法の高感度化についてまとめたものである。

第 1 章では、本研究の研究背景について述べ、研究の目的を明確に示した。

第 2 章では、ナノスケール構造の発光特性評価手法をフォトルミネッセンス法、カソードルミネッセンス法、STM 発光分光法の 3 種類に分類し、空間分解能の点からそれぞれの手法について述べた。特に、本研究の主体となる STM 発光分光法について詳細に記し、測定手法の原理、または測定対象に依存する幾つかの発光メカニズムについて解説した。

第 3 章では、本研究で立ち上げた室温・大気中で動作する STM 発光分光システムの特長について解説した。本システムは、STM 観察領域における発光強度分布を示すフォトンマップ分析と、発光のエネルギー分析を行うための発光スペクトル分析を同時に実行可能なシステムであり、それぞれの分析モードの詳細について述べた。また、ナノスフィア・リソグラフィ法によって作製した酸化インジウムスズ基板上的 Au ナノ構造を用い、Au ナノ構造からのプラズモン発光分析を行うことにより、立ち上げたシステムの動作確認と性能評価を行った結果を記した。

第 4 章では、ナノスケール構造の光物性評価の一例として CNT の STM 発光分析結果について記した。固体基板上に配置した個別の CNT のフォトンマップ分析、発光スペクトル分析を行い、個々の CNT に関して発光特性評価と電子状態解析を行った結果を記した。

第 5 章では、STM 発光分光法における試料からの発光の量子効率向上による分析手法の高感度化に関する研究について記した。STM 発光測定において、分析試料を固定する基板として貴金属基板を用い、STM の探針直下にプラズモン増強効果を導入することによって発光の量子効率を向上し、STM 発光分光法を高感度化することに成功した。

本研究では、プラズモン増強効果を用いることにより、量子効率が低いためにこれまで観測されたことのなかった銅フタロシアニンからの蛍光発光を検出することに成功した。また、STM 探針直下における分子間相互作用により発現するアップコンバージョン発光の観測に成功し、その発光メカニズムについて述べた。さらに、本研究において発見したアップコンバージョン発光を用いることで可能となる、STM 発光分光法を用いたナノスケールでの蛍光発光イメージング手法を考案し、実験によりその有用性を検証した。

第6章では本論文の総括を記した。

論文審査の結果の要旨

現在、エレクトロニクス研究開発分野のみならず、材料物性研究、ライフサイエンス研究など、種々の研究分野において、高い空間分解能を有するナノスケール領域の物性評価の重要性が認識されている。中でも、ナノスケール構造特有の光物性を評価するためには光の回折限界に制約を受けないカソードルミネッセンス法などが多く用いられている。しかしながら、高エネルギーに加速した電子線を励起源とし、真空内に試料を配置する必要があるため、空間分解能や試料の種類などに制約を受ける。このような背景から、本論文は、原子・分子レベルの高い空間分解能を有する走査トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscopy; STM) を利用した STM 発光分光システムを構築し、ナノスケール構造の光物性評価を行うと共に、STM 発光分光法の高感度化を試みたものである。論文前半部の、室温・大気中において動作する STM 発光分光システムの構築においては、発光強度の空間分布情報を得るためのフォトンマップ分析と、発光の波長分布を知るための発光スペクトル分析の二種類の発光分析を同時に実行することにより、ナノスケール構造の光物性に関する多角的な特性解析を実現している。さらに、構築した STM 発光分光システムを用い、代表的なナノスケール量子材料として知られるカーボンナノチューブ (Carbon Nanotube; CNT) からの発光特性解析を行っている。個々の CNT の発光特性の違いが、CNT の構造の違いによるそれぞれの電子状態に起因していることを見だし、金属的、または半導体的性質を有する CNT の判別に成功している。この結果により、構築した STM 発光分光システムが光物性評価手法として高い空間分解能を有する優れたシステムであること実証している。また、ナノスケール構造からの発光を観測する上で問題となる発光効率の低さを改善するために、STM 発光観測時にプラズモン増強効果を導入することで測定法の高感度化に成功している。これにより、これまでに観測されたことのなかった銅フタロシアニン薄膜からの蛍光発光の観測に成功し、さらに、STM 探針直下の局所領域における分子間相互作用によるアップコンバージョン発光の観測にも成功している。観測したアップコンバージョン発光を利用した蛍光発光イメージングが実現可能であることを提案し、実際に銅フタロシアニンの蛍光発光イメージングを取得することで、その有用性を実証することに成功している。

以上のように、本論文では、ナノスケール構造の光物性手法として高い空間分解能を有する STM 発光分光システムを構築し、個別の CNT の発光特性を室温・大気中で評価することに成功している。また、プラズモン増強効果の導入による STM 発光分光法の高感度化に成功し、本測定法の適応範囲を拡充すると共に、ナノスケールの蛍光発光イメージング手法としての新たな展開を期待させるものである。これらの成果は、ナノスケールの光物性評価を必要とするさまざまな研究分野の発展に寄与するところが非常に大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。