

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	カソードルミネセンス法による光ナノアンテナの多次元計測
Title(English)	Multi-dimensional measurement of optical nanoantenna by cathodoluminescence technique
著者(和文)	松方妙子
Author(English)	Taeko Matsukata
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11709号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三宮 工,尾中 晋,中辻 寛,原 正彦,梶川 浩太郎,田中 拓男
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11709号, Conferred date:2022/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		松方 妙子	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	三宮工	准教授	審査員	梶川浩太郎	教授
	審査員	尾中晋	教授		田中拓男	主任研究員
		中辻寛	准教授			
		原正彦	教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「カソードルミネセンス法による光ナノアンテナの多次元計測」と題し、全8章から構成されている。

第1章「緒論」では、光ナノアンテナに求められる特性を述べ、光アンテナの評価においては、光の回折限界を超えたスケールでの光電場分布や励起位置に依存した指向性評価が求められることを説明している。ナノ光計測法の中では、カソードルミネセンス(CL)法が有効であることを説明したうえで、現状のCL計測の問題点が、同時計測パラメタが限られていること、発光位置が計測できないことを指摘し、本研究の目的が励起位置・発光角度・発光エネルギー・発光位置を同時計測する多次元CL法の確立であることを説明している。

第2章「原理」では、光ナノアンテナの多くに用いられる表面プラズモンの基礎、および指向性制御に必要な放射場の多極子展開をまとめている。また、CLにおける励起・発光過程について述べ、特に本研究で用いるコヒーレント発光過程について、加速電子が白色点光源として機能することを説明している。

第3章「角度・エネルギー同時分解4次元CL法の開発」では、4次元計測に必要な光学系の改良および解析ソフトウェアの作成についてまとめている。ハードウェアの整備に加え、色収差を考慮したスペクトルデータの解析手法を確立し、角度・エネルギー分解した1万枚を超える画像に相当する4次元データからの画像抽出、特定の励起位置における角度・エネルギー分解スペクトルの抽出が可能であることを述べている。

第4章「4次元CL法による単一球状アンテナの指向性・モード解析」では、前章で開発した4次元CL法を用いて、シリコン球状粒子が指向性アンテナとして機能することを説明している。従来のアンテナでは空間的に離れた複数の双極子を用いるためサイズが波長以上に大きくなるが、多極子放射の干渉によりサブ波長の単一粒子でも指向性を実現できることを実証している。特定の角度・エネルギーでは、動径方向に高次のモードを含む多極子の電場を選択的にイメージングできることを示している。

第5章「4次元CL法による単一球状アンテナの円偏光(CPL)位相解析」では、第3章で開発した4次元CL法を用いて、球体からの円偏光放射制御を実証している。CPL制御には通常キラリティを持つ構造が用いられるが、電子線照射位置と計測方向により系の対称性を崩すことでCPL指向性が得られる。電子線励起により位相のずれた縮退双極子の干渉を用いた方法および電気・磁気双極子の干渉を用いた方法を提案している。また、4次元解析の中で、特定の計測角で電子線と平行方向偏光の放射の位相が一定になることを見出しており、ストークスパラメタ解析から試料面内方向の場の位相マップが得られることを示し、試料内部の光位相分布の可視化に成功している。

第6章「励起発光位置同時観測(SEEM)法の開発」では、電子線による励起位置だけでなく発光位置を分解するCL法の開発について説明している。通常のCL計測と同時に発光位置分解計測を行うための光学系の追加・改良、別システムから制御される電子線スキャン信号を読み取りながら同期撮影するシステムの構築、計測および解析ソフトウェアの作成について説明している。発光位置イメージは光結像であるため光波長の回折限界に分解能が制限されるが、重心評価を行うことで、発光スポット位置を光波長の10分の1以下の精度で決定できることを示している。

第7章「SEEM法による導波系を持つアンテナの発光位置解析」では、前章で開発したSEEM法

を用いて、銀ナノワイヤと銀ホール構造の2種類のプラズモニック構造について、発光位置イメージングおよび発光スポット分解CLマッピングの結果を説明している。銀ナノワイヤでは、伝搬モードよりも漏洩モードが主に観察され、銀薄膜上の孔構造では、表面プラズモンポラリトンの伝搬により励起と発光位置が異なる系の可視化に成功している。

第8章「結論」では、本研究の結果をまとめ、本論文を総括するとともに将来展望について述べている。

以上を要するに本論文は、励起位置・発光角度・発光エネルギー・発光位置の多次元計測可能なCL法を開発し、光ナノアンテナの評価に適用することで、単一粒子ナノアンテナのコンセプトを提案し、電子線を用いた新しい光操作の原理を見出したもので、理学上及び科学技術上貢献するところが大きい。よって本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。