

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Nanoscale spatially resolved measurements of optical-field vector using near-field light
著者(和文)	岡本拓也
Author(English)	Takuya Okamoto
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11930号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:河野行雄,波多野睦子,間中孝彰,渡辺正裕,岩崎孝之,田邊匡生
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11930号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:Yukio Kawano,Mutsuko Hatano,Takaaki Manaka,Masahiro Watanabe,Takayuki Iwasaki,Tadao Tanabe
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		岡本 拓也	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	河野 行雄		准教授	審査員	岩崎 孝之	准教授
	審査員	波多野 睦子		教授		田邊 匡生	教授
		間中 孝彰		教授			
		渡辺 正裕		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、”Spatially resolved nanoscale measurements of optical-field vector using near-field light”（近接場光による光ベクトル場のナノ空間分解計測）と題し、英文 7 章から構成されている。

第 1 章 “Introduction”（序論）では、ナノフォトニクスの要素技術であるナノ光学デバイスとその光学的評価技術に関する研究の背景と目的を述べている。メタ材料をはじめとするナノ光学デバイスは、人工的な構造設計によって光ベクトル場を制御することができるため、多種多様な光学システムの礎になると強く期待されている。一般に、デバイス上の光ベクトル場は 3 次元空間中において回折限界以下の空間スケールで変化するため、ベクトル量で記述される。これを理解することはナノフォトニクスの発展において重要な課題にも関わらず、その複雑な振る舞いからシミュレーションによる理解が今日では主流であり、実験的マッピングは殆ど達成できていないのが現状であると指摘している。この問題を解決するため、本研究の目的は、ナノ空間分解光計測技術の一つである、散乱型近接場光学顕微鏡（s-SNOM）を用いた 3 次元ナノ空間分解光ベクトル場計測を達成することと述べている。

第 2 章 “s-SNOM setup and modeling”（s-SNOM の光学系とそのモデリング）では、本研究で使用した s-SNOM の基礎特性、3 次元ベクトル計測に向けた位相分解計測系、そして理論モデリングによる性能評価について述べている。まず s-SNOM における近接場光/計測の理論を記述し、ベクトル量の構築に不可欠な 2 変数(強度と位相)が計測可能な光学系について説明している。参照光の導入やノイズ対策によって、信号雑音比や空間分解能の改善を達成し、探針の励振現象を含む準静的理論モデルを通して性能の評価を行っている。

第 3 章 “Nanoscale visualization of optical-field vector on LSA”（LSA 上光ベクトル場のナノスケール計測）では、光アンテナの一種である LSA (logarithmic spiral antenna)に対して実際に光ベクトル場のナノスケール空間分解マッピングを行った結果について述べている。近接場光強度は電磁界シミュレーションから得られた電界強度とよく一致していることを示し、LSA 特有の広帯域性と偏光無依存性を実験的に直接可視化している。さらに、LSA 中央部において近接場位相反転が観測され、中央部において光ベクトル場が跨っていることを示唆していると述べている。

第 4 章 “Electrical approach for local optical field”（局所光ベクトル場への電氣的アプローチ）では、第 3 章で示唆された LSA の中央部における跨った光ベクトル場を、光センサの電気応答から副次的に実証している。具体的には LSA の光学特性を乱さないよう、中央部に非常に小さな量子ドットを作製し、その電気特性から議論している。量子ドット特有の Coulomb ブロッキング領域内において、広帯域に応答する巨大光電流が観測され、LSA の有無に対して光電流が 10⁴ 程度大きくなることを明らかにしている。照射波長とナノ構造の大きなサイズミスマッチにも関わらず強い光学的結合を示すことから、LSA による中央部で光ベクトル場が跨っていることに対応し、s-SNOM によるナノ空間分解マッピング結果を支持すると結論づけている。

第 5 章 “Vectorial nature of s-SNOM”（s-SNOM のベクトル的性質）では、s-SNOM 自体のベクトル的性質について述べている。s-SNOM 自体の近接場を定量的に理解するために、ポリヒドロキシ酪酸バンド球晶のユニークな構造情報に着目し、赤外振動分光計測を通して議論している。実験結果は、s-SNOM の近接場光は試料表面に対して面外に支配的に偏極していることを明らかにし、3 次元ベクトル場の面外成分を選択的に計測していることを実証している。これは第 3 章の光ベクトル場計測とコンシステントな結果であると述べている。

第 6 章 “Nanoscale visualization of in-plane optical-field vector”（面内光ベクトル場のナノスケール計測）では、3 次元ベクトル計測を実現するため、s-SNOM による面内計測に取り組んでいる。面内偏極した s-SNOM の近接場光は探針の幾何構造などに由来して微弱ではあるが、マイケルソン干渉計の自由度の高い光学系を活かした偏光分解計測から面内の光ベクトル場分布を可視化することができたと述べている。更に、探針上にナノスケール光導波路を作製したブラズモン超集束を用いて信号雑音比の改善も議論している。

第 7 章 “Conclusion and Future Work”（結論と今後の研究）では、本論文の結論と今後の展望をまとめている。
以上を要するに、本論文では、s-SNOM による光ベクトル場ナノスケール計測の研究を行い、s-SNOM の基礎特性の理解、光学系の構築、光ベクトル場計測の実証実験、面外・面内のベクトル分解計測について系統的に述べられている。これらの研究成果は、ナノ光学デバイスを実験的に評価する上で必要となるナノ 3 次元ナノスケール光計測に向けた新たな道を拓いたもので、工学上、貢献するところが大きい。よって、我々は本論文が博士（工学）の学位論文として十分な価値があると認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(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。