

Title	赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡に関する基礎的研究
Author(s)	中野, 隆志
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3065912
DOI	10.11501/3065912
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

氏名	中野隆志
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第10741号
学位授与年月日	平成5年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡に関する基礎的研究
論文審査委員	(主査) 教授 志水 隆一 (副査) 教授 増原 宏 教授 興地 斐男 教授 樹下 行三 教授 一岡 芳樹 教授 中島 信一 教授 後藤 誠一 教授 豊田 順一 教授 岩崎 裕 教授 山本 稔

論文内容の要旨

本研究は、ニアフィールド光学走査顕微鏡を赤外顕微分光分析に応用するための基礎研究として、原理の考案と考察を行ない、装置を設計、試作し、そして検証実験を試みたものである。本論文は、その研究成果をまとめたものである。論文は、序論を含み、本論5章と総括から構成されている。

第1章では、ニアフィールド光学走査顕微鏡の意義と、その歴史について述べている。また、赤外顕微分光の重要性と問題点を示し、ニアフィールド光学走査顕微鏡を応用することの意義を述べている。

第2章では、開口径が波長より小さな微小開口における光の回折場を Bethe の回折理論を用いて計算した結果を示している。回折場の強度分布は、開口から開口半径の距離までは、開口の大きさに強度スポットが保たれ、P 偏光の光が斜入射する場合の回折場が垂直入射と比べ、強度で4桁高いことを明らかにしている。また、ポインティングベクトルは、垂直入射では開口からの放射場が支配的であるのに対して、斜入射では、開口から出て開口に戻るループを描くことを明らかにしている。

第3章では、Marchand の回折理論に基づいて、Kirchhoff の回折理論に、開口端からの開口面内への回折成分を加えて、微小開口の回折場を計算している。さらに、Fourier Optics を用いて微小開口での光の回折場を計算し、各理論による計算結果を比較している。

第4章では、誘電体チップを用いた赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡の試作について述べている。誘電体チップには、ZnSe 結晶の先端を波長以下の大きさに加工したものを用いている。光源には CO₂ レーザ (10.6 μm) を用いている。チップ先端からの反射光は MCT 検出器で強度測定し、試料は、ピエゾ素子で駆動している。実験では、試料をチップ先端から離して行くにしたがって、反射光強度がニアフィールドで指数関数的に減衰することにより、入射光によって、チップ先端にエバネッセント場が生成されていることを確認している。また、直径6 μm のラテックス球の空間分布を試作した顕微鏡で測定し、回折限界で得られる分解能のほぼ2倍を得ることに成功している。

第5章では、チップ先端の尖らない、高屈折率プリズムによるニアフィールド光学走査顕微鏡の原理を提案し、輪帯開口からの収束光を用いて、エネルギー効率の良い微小なスポットを実現できることを理論と計算から示している。

さらに、実際に高屈折率プリズムを用いて、赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡を試作し、赤外線微分光に応用している。顕微鏡は、試料の上部に屈折率4のゲルマニウムの半球プリズムを設置し、試料面上に光が収束するようにしている。この試作した赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡で実際に、赤外顕微分光の実験を行ない、回折限界で計

算した値の2倍の分解能を得ることに成功している。

総括では、赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡が理論どおり性能を発揮するための、今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

光計測、分光計測の分野では、波長を超える面内分解能で試料を観測できる顕微鏡の開発が要求され、重要な研究課題となっている。本論文は、これらの要求に答えるために、赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡に関する基礎研究を行なった結果をもとめたものである。その主な成果を要約すると次のとおりである。

- (1) 微小開口のニアフィールド回折場をベクトル理論を用いて解析した。特に、偏光を考慮して解析を行ない、偏光による回折場の変化を明らかにし、ニアフィールド光学走査顕微鏡の開発に重要な成果を与えている。
- (2) 微小開口の回折場をスカラー回折理論を用いて解析し、ベクトル理論での解析結果と比較を行なった。ニアフィールドの回折場がエバネッセント場を含んで形成されることを明らかにしている。
- (3) 誘電体チップを用いた赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡を試作し、試作システムが微小開口を使ったシステムと同じく、波長以下の面内分解能を持つことを実験によって明らかにしている。
- (4) 新たにプリズムを用いたニアフィールド光学走査顕微鏡を考案し、ゲルマニウムのプリズムを用いて赤外ニアフィールド光学走査顕微鏡を試作している。試作装置を使って赤外顕微分光の実験を行ない、波長以下の面内分解で試料のスペクトルを測定することに成功している。

以上のように、本論文は、ニアフィールド光学走査顕微鏡を赤外顕微分光分析に応用するための、原理の考案と考察を行ない、装置を設計、試作し、そして検証実験を試みた研究をまとめたもので、応用物理学、特に光学計測、分光計測の分野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のあるものと認める。