

SEMなみの解像度を持つ 広視野レーザースキャナーの基礎研究

(課題番号 14350079)

平成 14 年度～平成 16 年度
科学研究費補助金[基盤研究(B)(2)]
研究成果報告書

平成 17 年 3 月

研究代表者 新田 勇
(新潟大学工学部)

はしがき

平成14年度～平成16年度にわたり文部科学研究費補助金の交付を受けて行った研究課題「SEMなみの解像度を持つ広視野レーザースキャナーの基礎研究」基盤研究(B)では、レーザースキャナー(レーザ顕微鏡)に広い視野を付与する研究を行った。これまでのレーザ顕微鏡では、光学顕微鏡用の対物レンズを用いているために、視野が狭いことが難点となっていた。視野が狭い原因は、細く集光したままのレーザ光を幅広く走査することができないからである。これは、複数枚で構成されている $f\theta$ レンズの各々のレンズの中心が一致しないことにより引き起こされる。すなわち、レンズの心ずれの影響を受けて、走査幅の両端付近ではどうしてもレーザ光束を細く絞ることのできないものである。申請者は、これまでにシュリンクフィッタという新しい機械要素を用いることで、レンズの心ずれを高精度に抑えることができることを実証してきた。

本研究では、シュリンクフィッタ技術を用いることで視野が広い対物レンズ(レーザ走査用 $f\theta$ レンズ)を作製した。この新しい $f\theta$ レンズを用いることで、広い走査幅にわたりレーザ光を均一に絞り込むことができるようになった。その結果、視野が格段に広いレーザースキャナーを製作することができた。

具体的には、10mmの走査幅にわたり、 $3\sim 4\mu\text{m}$ 直径のレーザスポット(波長650nm)を走査することができる $f\theta$ レンズを作製した。また別にレーザ共焦点型顕微鏡を作製して、この $f\theta$ レンズを組み込んだ。このようにして作製したレーザースキャナーの倍率は、対物レンズ換算で約20倍となった。通常のレーザ顕微鏡では、対物レンズ20倍の視野は、およそ0.2mm～0.5mm角であるので、本開発のレーザースキャナーはおよそ20～50倍の広い視野となった。

以下に、その主要な成果のみを取り纏めて報告する。

研究組織

研究代表者 新田 勇 新潟大学工学部教授

交付決定額(配分類)

(金額単位:千円)

	直接経費	間接経費	合 計
平成 14 年度	6, 600	0	6, 600
平成 15 年度	3, 900	0	3, 900
平成 16 年度	4, 100	0	4, 100
総 計	14, 600	0	14, 600

研究発表

【1】学会誌等

- [1]岡本倫哉, 新田 勇,
シュリンクフィッタを用いた 3D レーザイメージャーの基礎研究,
新潟大学大学院自然科学研究科修士論文, 全 75 ページ,
2003. 2

【2】口頭発表

- [1]新田勇, 岡本倫哉, 長岡泰
シュリンクフィッタを用いた3Dレーザスキャナーの広視野観察
日本機械学会北陸信越学生会 第 33 回学生員卒業研究発表講演会(富山),
2004 年 3 月 15 日
- [2]岡本倫哉, 新田勇, 菅野明宏, 小俣公夫
3Dレーザスキャナの開発(基本性能の評価)
日本機械学会 2004 年度年次大会(北海道), 2004 年 9 月 8 日

研究成果

(1) 研究目的

申請者は、シュリンクフィッタを用いてポリゴンミラーや光学レンズを高精度に接合する方法を開発してきた。本研究の目的は、これらの技術を核に走査型電子顕微鏡なみの高解像度を持ちながらも視野が広い新しいタイプの顕微鏡を世界に先駆けて研究開発することである。

一般的な観察装置の解像度と視野の関係はトレードオフの関係にある。すなわち、解像度を上げると視野は狭くなる。光学顕微鏡やレーザ顕微鏡および走査型電子顕微鏡(SEM)でもこの事情は同じである。本研究の目的は、解像度を落とすことなく観察視野を広げることであり、そのような顕微鏡の開発を目指す。

本研究で開発するレーザスキャナーの原理は、既存のレーザ顕微鏡とほとんど同じである。すなわち、レーザスキャナーは、走査レンズで微細に絞ったレーザ光(レーザスポット径)を観察対象物に当て、観察対象物各点の反射光の強度を測定し、光の強弱を基に画像を構成することで対象物を観察するものである。視野を広げるためには走査幅を広げればよいが、現状では走査幅の両端でレーザのスポット径が大きくなるために解像度が悪くなる。

本研究では走査レンズ($f\theta$ レンズ)とレーザ走査装置(ポリゴンミラー)を、これまで申請者が研究してきたシュリンクフィッタという新しい機械要素を用いて構成することにより、広視野化と高解像度化を同時に達成するものである。

本レーザスキャナーの理想は、SEMなみの高解像度を持ちながらも、SEMに要求される試料の前処理や真空チャンバーに入れるということをしなくても使用可能となることである。したがって、新しいタイプの顕微鏡として幅広く活用されるものと考えられる。さらに、非接触の検査装置として高精細液晶画面やDNAチップ等の検査装置として不可欠のものとなると考える。

(2) 研究成果および成果の概要

本研究の当初は、これまで行っていた $f\theta$ 走査用レンズ系を改良した。これまでは、走査幅30mmにわたりレーザのスポット径 $6\mu\text{m}$ を保証するレンズ系を研究対象としていた。しかし、レーザイメージャー用にスポット径を $3\mu\text{m}$ とし、走査幅を10mmとした新しい走査レンズ系を設計試作した。 $f\theta$ レンズはシュリンクフィッタ技術により鏡筒に接合されているために、周囲の温度変化が生じても、レーザの結像性能は悪化しない。さらに、締めばめでレンズが固定されているので振動があっても性能は悪化しないなどの優れた特長を有している。

試作した3Dレーザスキャナーの構成は、コリメータ付きの半導体レーザとレーザ走査用の走査ミラーと $f\theta$ レンズ、およびレーザ反射光強度を測定するための受光素子からなる。本装置は共焦点光学系となっている。広い領域を観察するために、レーザはテレビの走査線の様に観察対象物の表面上を移動することになる。シュリンクフィッタ技術を用いることによって、10mm幅の広大な領域を観察することに成功した。さらにテストチャートを観察することで、3Dレーザイメージャーの倍率を調査した。その結果、対物レンズ換算で約20倍の倍率であることが分かった。

試作の装置は完成したが、観察画像が揺れるのが課題として残った。そこで、これを解決することを目指した。これまでは、レーザを走査する回転ミラーの支持軸受は、ボールベアリングを用いていた。ジッタを測定したところ局所的にジッタが悪化する現象が見られた。ボールベアリングでは、ボールが軌道輪を接触しながら回転しているが、急激に摩擦係数が大きくなる場所があり、そのときにジッタが悪化すると考えられた。そこで、空気動圧軸受を使用することにした。平面ミラーを当該の空気動圧軸受支持のモータに接着し、動バランスをとった。最終的には、空気動圧軸受のジッタが目標値以内となったので、画像の揺らぎを抑えることができた。さらに、画像の揺らぎを抑えるために、計測ソフトウェアにも工夫を凝らした。レーザ走査ラインの原点を決めるための原点位置検出部分を改良し、再現のよい原点の位置決めが可能となった。反射光強度をデジタルデータに変換するA/D変換ボードは100MHz動作の高速なものを使用した。

これにより、10mm 幅の走査領域を $0.5\mu\text{m}$ 間隔で観察することができるようになった。光源に安価な半導体レーザを用いていることにより、光源の波長を変えることが容易となった。これにより、観察対象物に最適なレーザ波長を選ぶことができるので、高精度な観察ができる。試作した装置は除振台の上に設置し、外部の振動の影響を最小限にするようにした。

今後の課題

本研究により、シュリンクフィッタ技術を使って観察視野が広い3Dレーザイメージャー(レーザ顕微鏡)を実現することができた。本装置は、構造が簡単であるので、色々な分野に柔軟に対応することができる。また、レーザ波長を変える、蛍光を扱えるようにする、形状を簡便に測定できるようにするなど、改良を加えることで種々の分野で使えるものと考えられる。

今後は、さらにレーザスポット径の微細化を図り、3Dレーザイメージャーの解像度を上げていく計画である。

謝辞

本研究を遂行する上で多くの皆様にご協力を頂きました。特に工学部機械工場の白井健司技官には、試験装置の改良や試験片製作を快く引き受けて頂きました。

最後に、財政的なご支援を頂いた文部科学省に謝意を表します。

添付論文

本研究の概要説明のため次の論文等を以下に掲載する.

[1]岡本倫哉, 新田 勇,

シュリンクフィッタを用いた 3D レーザイメージャーの基礎研究,

新潟大学大学院自然科学研究科修士論文, 全 75 ページ,

2003. 2

[2]新田勇, 岡本倫哉, 長岡泰

シュリンクフィッタを用いた3Dレーザスキャナーの広視野観察

日本機械学会北陸信越学生会 第 33 回学生員卒業研究発表講演会(富山),

2004 年 3 月 15 日

[3]岡本倫哉, 新田勇, 菅野明宏, 小俣公夫

3Dレーザスキャナの開発(基本性能の評価)

日本機械学会 2004 年度年次大会(北海道), 2004 年 9 月 8 日