

博士學位論文

(内容の要旨及び論文審査の結果の要旨)

氏名	Yasuhiko Nawa 名和 靖彦
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博 甲 第 32号
学位授与	平成22年2月25日
学位授与条件	学位規程第3条第3項該当
論文題目	半導体レーザの自己結合効果を用いた微小振動センサに関する研究 (Study on small vibration sensor using self-coupling effect of semiconductor laser)
論文審査委員	(主査) 教授 山田 諄 ¹ 教授 内田悦行 ¹ 教授 穂積直裕 ¹ 准教授 津田紀生 ¹

論文内容の要旨

半導体レーザの自己結合効果を用いた微小振動センサに関する研究
(Study on small vibration sensor using self-coupling effect of semiconductor laser)

およそ半世紀前の1960年に、メイマンがルビーを使用し初めてのレーザ発振に成功して以来、固体、液体、気体などの媒質を利用して、色々なレーザが開発されてきた。それらに伴い、レーザを用いた様々な新しい技術が生み出され、その結果、光エレクトロニクスの分野が急速に発展している。その応用は光通信、コンパクトディスク、電子機器、加工機器、計測機器、医療機器、エネルギーなどの分野にも広がっている。

特に半導体レーザは、他のレーザと比較して小型、軽量という利点のみならず、高利得、高効率であることや、注入電流によりレーザ光の周波数や出力を制御でき、変調が可能であるなどの特徴を持っている。このような特徴を活かした応用分野として光通信技術、光情報記録技術、レーザプリンタ技術などがある。また、前述した分野以外にも、物体の形状測定、距離測定、回転速度測定などの計測分野へも応用が広がるようになってきた。

このように光エレクトロニクス分野が発展する中で、生産工程の自動化や省力化のため、小型で高感度なセンサに対する需要が強まっている。特に、ナノ技術の進歩に伴い、半導体集積回路、フォトニクス結晶、MEMSなどの製品を大量に製造する過程において、品質の維持やコスト削減のために10nm程度の微小振動を常に監視するセンサが必要とされる。そこで、半導体レーザの自己結合効果を用いて、非接触で半導体レー

ザの半波長より小さいターゲットの微小振動を測定できるセンサを研究した。このセンサは、半導体レーザの発振部と検出部が一体型のため、外部干渉系が無く、外部振動に強いものとなる。また、発光、干渉、検出を半導体レーザと半導体レーザ内蔵のフォトダイオードのみで行うため、小型で構造が簡単で安価なものとなる。ターゲットの振動が大きい時には半波長以上振動する部分の出力振幅が揃うため、これを基準として振動振幅の測定が可能であるが、ターゲットがレーザの発振波長の半波長以下の微小振動をする時、その振動はターゲットの入力信号と同じ周期の振動をするので、出力信号の変化の原因が、ターゲットの反射率などの変化による戻り光量の違いであるのか、ターゲット自身の振動振幅の変化であるのかが分からないため正確な振動検出ができない。本研究では、センサ部を二重構造にし、センサ部を半波長以上高速で動かすことでレーザとターゲット間の距離を意図的に変化させ、基準となる信号を作り出した。この基準信号とセンサ出力信号を比較することによってターゲットの振動振幅を求めた。また、干渉波形は正弦波関数であるので基準信号に対してどの位置で振動しているかによって出力信号の大きさが変化する。そこで、センサ部とターゲット間の距離を変化させ、センサ出力信号が基準信号に対して中心で振動するように調整し、センサ感度が最大時の出力信号を得るようにした。本研究では、測定原理を検証するための手動式による方法と手動式の欠点となる個人誤差の改善や測定精度の向上を目標に自動式による方法とで研究を行った。自動式では、ターゲットの振動周波数が数kHz以下で振動振幅が数nm以下の微小振動と振動周波数を測定できるようなセンサシステムを研究した。

センサ部を意図的に半導体レーザの半波長以上の距離を高速で動かすことによって、基準振動振幅とな

る基準信号を発生させ、基準信号とセンサの出力信号を正弦波補正によって比較し、ターゲットの反射率などに関係なく、ターゲットの微小振動振幅を求めることができた。手動式では、センサ部を移動させるためにファンクションジェネレータを利用してセンサ駆動用圧電素子に正弦波信号を印加したが、自動式では、装置を簡略化するために、ファンクションジェネレータの代わりにマイクロコンピュータでパルスが発生させ、その信号を利用してセンサ駆動用圧電素子に正弦波信号を印加した。また、直流バイアス電圧をセンサ駆動用圧電素子に印加し常に最大感度の位置で微小振動を検出したので、センサはターゲットの位置に関係なくセンサ感度が高いものとなった。手動式ではターゲット表面の色に関係なく最小約5nmまでの微小振動振幅を測定できたが、最大感度の検出を直流電源の可変抵抗値を変えていくことでバイアス電圧の調整を手動で行ったため、最大感度時の出力が不安定となり出力振幅の読み取りに個人誤差や過失誤差が発生し、偏差が雑音による影響以外にも大きくなった。自動式では、マイクロコンピュータによって常に最大感度の位置で微小振動を検出できるようにセンサ部をゆっくり半波長以上の距離を動かしたので、手動式より正確なセンサ感度最大点を検出でき、ターゲットの振動が0.5kHzから3.0kHzの間で、振動周波数やターゲット表面の色に関係なく半導体レーザーの発振波長の約1/250倍に相当する最小約3nmまでの微小振動振幅を測定できた。また、ターゲットの振動周波数を出力信号からマイクロコンピュータの処理によって振動振幅と同時に求めたので、オシロスコープから読み取るよりも早く正確な値を求めることができた。よって、当初の目標である振動周波数が数kHz以下で振動振幅が数nm以下の微小振動を非接触で検出するという目標が達成できた。

以上のことより、この自動式による微小振動センサシステムは、半導体レーザーの自己結合効果を用いて、非接触でターゲットの振動振幅や振動周波数を高精度で自動的に測定できる小型で安価なセンサシステムであることが分かった。

論文審査結果の要旨

本研究では、半導体レーザーの自己結合効果を用いた微小振動センサの開発とその特性評価について研究を行っている。レーザーが発明されて以来各種レーザー装置が開発され、レーザーを用いた様々な新しい技術が生み出され、その結果、光エレクトロニクスの分野が急速に発展している。特に半導体レーザーは、他のレーザーと比較して小型、軽量という利点のみならず、高利得、高効率であることや、注入電流によりレーザー光の周波数や出力を制御でき、変調が可能であるなどの特徴を持っている。このように光エレクトロニクス分野が発展する中で、生産工程の自動化や省力化のため、小型で安価、高感度なセンサに対する需要が強まっている。特に、ナノ技術の進歩に伴い、半導体集積回路、フォトニクス結晶、MEMSなどの製品を大量に製造する過程において、品質の維持やコスト削減のために数nm程度の微小振動を常に監視するセンサが必要とされる。

そこで本研究では、これまで戻り光ノイズとして取り除こうとされてきた半導体レーザーの自己結合効果を用いて、非接触で半導体レーザーの半波長より小さいターゲットの微小振動を測定できるセンサについて研究している。このセンサは、半導体レーザーの発振部と検出部が一体型のため、外部干渉系が無く、外部振動に強いものとなる。また、発光、干渉、検出を半導体レーザーと半導体レーザー内蔵のフォトダイオードのみで行うため、小型で構造が簡単で安価なものとなる。

本論文は5章で構成されている。

第1章の序論では、光エレクトロニクスやナノ技術などについて触れ、微小振動計の種類や特徴など本研究の背景について言及し、本研究のセンサシステムの特徴や必要性など本研究の目的について述べている。

第2章の微小振動センサの原理では、本研究に用いた半導体レーザーの原理、特徴及び特性について述べ、本研究の測定原理である半導体レーザーの自己結合効果と振動振幅値の測定方法及びセンサ感度の調整方法などの微小振動センサの原理について述べている。

第3章の実験装置では、ターゲットの微小振動測定を手動式で行った場合と自動式で行った場合のそれぞれの実験装置と測定方法について述べ、更に自動式の特徴についても言及している。

第4章の実験結果と考察では、手動式と自動式による振動振幅測定結果と考察を述べ、手動式においては、ターゲットが半導体レーザーの半波長以上と半波長未満の振動をしているときの振動振幅の測定結果と考察を述べている。第3章と第4章の主な内容として、センサ部を意図的に半導体レーザーの半波長以上の距離を高速で動かすことによって、基準振動振幅となる基準信号を発生させ、基準信号とセンサの出力信号を正弦波補正によって比較し、ターゲットの反射率などに関係なく、ターゲットの微小振動振幅を求めることができた。手動式では、センサ部を移動させるためにファンクションジェネレータを利用してセンサ駆動用圧電素子に正弦波信号を印加したが、自動式では、装置を簡略化するために、ファンクションジェネレータの代わりにマイクロコンピュータでパルスが発生させ、その信号を利用してセンサ駆動用圧電素子に正弦波信号を印加した。また、直流バイアス電圧をセンサ駆動用圧電素子に印加し常に最大感度の位置で微小振動を検出したので、センサはターゲットの位置に関係なくセンサ感度が高いものとなった。手動式ではターゲット表面の色に関係なく最小約5nmまでの微小振動振幅を測定できたが、最大感度の検出を直流電源の可変抵抗値を変えていくことでバイアス電圧の調整を手動で行ったため、最大感度時の出力が不安定となり出力振幅の読み取りに個人誤差や過失誤差が発生し、偏差が雑音による影響以外にも大きくなった。自動式では、マイクロコンピュータによって常に最大感度の位置で微小振動を検出できるようにセンサ部をゆっくり半波長以上の距離を動かしたので、手動式より正確なセンサ感度最大点を検出でき、ターゲットの振動が0.5kHzから3.0kHzの間で、振動周波数やターゲット表面の色に関係なく半導体レーザーの発振波長の約1/250倍に相当する最小約3nmまでの微小振動振幅を測定できた。また、ターゲットの振動周波数を出力

半導体レーザーの自己結合効果を用いた微小振動センサに関する研究

信号からマイクロコンピュータの処理によって振動振幅と同時に求めたので、より正確な値を求めることができた。

第5章では、本論文の総括と本研究の将来展望について述べている。

以上のように、本研究は半導体レーザーの自己結合効果を用いて数nm程度の微小振動の振動振幅、振動周波

数を自動で計測できるシステムを開発し、その特性を明らかにする等、工学上高い価値を有すると認められる。よって、本論文提出者名和靖彦氏は博士（工学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。

（受理 平成22年3月19 日）