

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：13102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13844

研究課題名(和文) 正弦波周波数変調によるヨウ素安定化LDと超高分解能超高速干渉計測長計の開発

研究課題名(英文) Iodine frequency stabilized laser diode for high-speed/high precision displacement-measuring interferometer based on sinusoidal frequency modulation

研究代表者

明田川 正人 (AKETAGAWA, MASATO)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：10231854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：レーザダイオード(LD)の周波数を正弦波状に変調し、そのキャリア周波数を633nm帯のヨウ素の飽和吸収線にロックし、測定時間100秒で相対的な周波数安定性 10^{-11} 乗を達成した。これを変位計測干渉計の光源とし、干渉計ターゲットミラーの変位を、干渉信号に含まれる高調波成分からリサージュダイアグラムを描き決定した。広範囲(光路差4-10メートル)で測定不確かさ10nmで変位を決定できた。変調周波数を3MHzまで上げて、測定可能速度をおよそ1m/sまで向上させた。以上より、以上より周波数安定性が良いLD光源を得、またこれを光源とする高分解能高速変位計測干渉計構築の目処を得た。

研究成果の概要(英文)：Iodine frequency stabilized laser diode (LD) with 633nm is developed based on the sinusoidal frequency modulation. Its frequency stability is 10^{-11} order for the sampling time of 100s. The LD is used for the light source for a displacement measuring interferometer. From harmonic signals of the interference output, the Lissajous diagram can be obtained and used for the determination of displacements of the target mirror. Measurement uncertainties of 10nm order is achieved for the optical path difference of 4-10 meters. The maximum modulation frequency of 3 MHz is attained so that the maximum measurable speed of 1m/s can be used. From the above results, high speed/high precision displacement measuring interferometers can be developed using the iodine frequency stabilized laser diodes.

研究分野：精密計測制御

キーワード：変位計測 干渉計 レーザダイオード 周波数安定 ヨウ素 ナノメートル

1. 研究開始当初の背景

変位計測干渉計は、光源の波長(すなわち周波数)が確定している場合、メートル標準へのトレーサビリティ確保が容易なため広く産業界に多用されている。この光源として HeNe レーザがよく利用されるが、出力が小さい、寿命が短い、かさばるなどの欠点がある。レーザダイオード(LD)は、出力が大きく寿命も長くコンパクトであるが、その波長安定性は一般に低い。ゆえに LD を変位計測干渉計に用いる例は少ない。これら干渉計の光源として LD を利用するには、その周波数安定性を HeNe レーザ並みかそれ以上にする必要がある。

一方、レーザ光源のキャリア周波数を正弦波状に変調し、これを変位計測干渉計に用いることを申請者は提案している。LD の注入電流を変調するとそのキャリア周波数(波長)を容易に変調可能であり、正弦波周波数変調光源を得ることが出来る。この手法により、干渉計出力に含まれる高調波成分を利用してリサージュダイアグラムを描き干渉計ターゲットミラーの変位を求めることが可能である。

2. 研究の目的

レーザダイオード LD の中心周波数の安定性を、正弦波周波数変調とヨウ素の吸収線(飽和吸収線と線形吸収線)を用いて行うことがこの研究の目的の一つである。さらに周波数が安定化した LD を変位計測干渉計の光源として利用し、干渉計ターゲットミラーの変位を高分解能かつ高速に求めることが次の目的である。

3. 研究の方法

狭いスペクトル幅を持つ LD の中心周波数を正弦波状に変調し、ヨウ素の吸収線を探査し、それにロックする。続いて周波数が安定化した LD を変位計測干渉計光源として利用し、干渉計出力に含まれる高調波成分によりリサージュダイアグラムを描き、干渉計ターゲットミラーの変位を得る。変調周波数を高速化するとともに、計測分解能を向上させる。

4. 研究成果

次の成果を得た。

(1) 図 1 に構築した計測システムを示す。

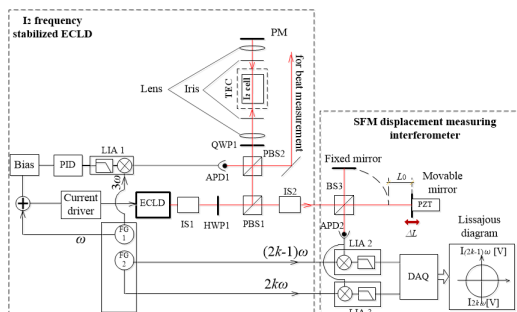


図 1 周波数安定化システムと変位計測干渉計

この図において、633nm 帯外部共振器型レーザダイオード ECLD に正弦波周波数変調を加え、ヨウ素飽和吸収線に、ECLD の中心周波数をロックした。測定時間 100 秒で、相対的な周波数安定性(中心周波数に対する変動周波数成分の比)として 10^{-11} オーダを達成した(図 2 参照)。

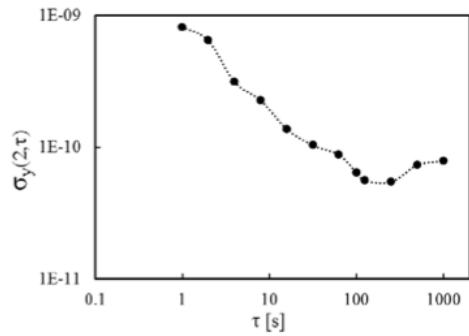


図 2 ヨウ素安定化 HeNe レーザとの比較結果
横軸は測定時間 縦軸はアラン分散

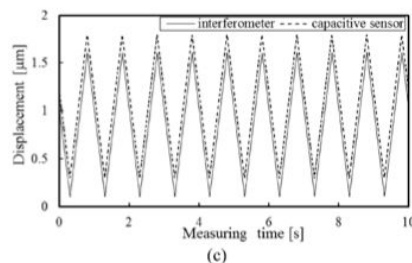
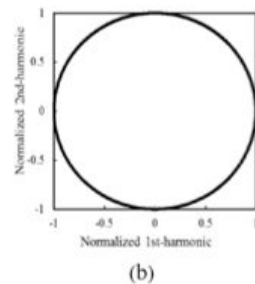
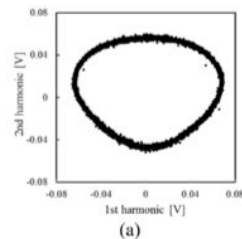


図 3 光路差 4 メートルでの変位計測結果
(a) 2 次と 3 次高調波による生のリサージュダイアグラム, (b) 上の(a)を正規化したリサージュダイアグラム, (c) 上の(b)からえた変位計測の結果(静電容量型変位計との比較)

図1に示すように、これを光源とする変位計測干渉計を構築した。干渉縞信号に含まれる変調信号の奇数倍と偶数倍の隣り合った高調波成分からリサージュダイアグラムを描くことが出来、そのダイアグラムからターゲットミラーの運動方向と変位を決定できる。図3(a)(b)に光路差が4メートルときのリサージュダイアグラムを示す。(a)は生のリサージュダイアグラム(b)はそれを正規化したものである。同図3(c)はこれらのリサージュダイアグラムから変位を算出したものである。光路差4~10メートル範囲で、ターゲットミラーの変位を10nmで決定することが出来た。図4に光路差が、それぞれ6, 8, 10メートルでの生のリサージュダイアグラムを示す。

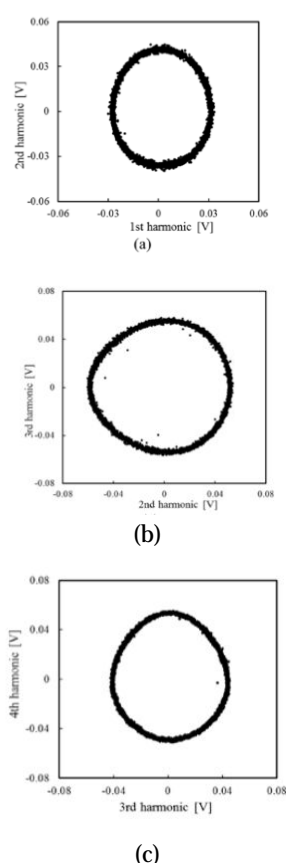


図4 生のリサージュダイアグラム。(a)光路差6メートル1次と2次の高調波,(b)光路差8メートル2次と3次の高調波,(c)光路差10メートル3次と4次の高調波。

また変調周波数を3MHzまで上げ、測定可能速度をおよそ1m/sまで向上させた。またリサージュダイアグラムを用いずに直接位相(すなわちターゲットミラーの変位)をゼロ法と位相同期ループによって決定する手法を考案した。(雑誌論文と学会発表参照)

(2) ECLDの正弦波周波数変調でなく、電気光学素子(EOM)を用いた正弦波位相変調法により、ECLDのキャリア周波数を633nmのヨ

ウ素の吸収線にロックすることに成功した。測定時間1000秒で、相対的な周波数安定性 10^{-11} オーダを達成した。またこれを光源とする変位計測干渉計を構築し光路差1メートルまでの範囲で、ターゲットミラーの変位を数nmの不確かさで決定できた。(学会発表参照)

(3) 780nm帯の分布ブラッグ反射型レーザダイオード(DBR-LD)の周波数を正弦波状に変調し、そのキャリア周波数をルビジウム飽和吸収線にロックした。測定時間100秒でおおよそ相対的な周波数安定性 10^{-9} から 10^{-10} をえた。

以上より周波数安定性が良いLD光源を得、またこれを光源とする高分解能高速変位計測干渉計構築の目処を得た。またこれらを多色化する目処も得た。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

(1) Thanh-Tung Vu, Masato Higuchi and Masato Aketagawa, Accurate displacement-measuring interferometer with wide range using an I2 frequency-stabilized laser diode based on sinusoidal frequency modulation, Measurement Science and Technology, Vol. 27,(2016), 105201.

(2) Vu, T.-T., Maeda, Y, Aketagawa, M, Sinusoidal frequency modulation on laser diode for frequency stabilization and displacement measurement, Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, Vol. 94, (2016), pp. 927-933.

〔学会発表〕(計4件)

(1) Duong Quang Anh, 長谷川文唯, 明田川正人, Frequency stabilized laser diode to saturated absorption of $^{127}\text{I}_2$ molecule at 633nm based on phase modulation for displacement measurement, 精密工学会2017年春季大会, 2017, D19.

(2) 樋口雅人, 浅野仁, 韋冬, 明田川正人, 正弦波周波数変調変位計測干渉計における直接位相検出法の開発, 精密工学会2017年春季大会, 2017, D02

(3) 浅野仁, 樋口雅人, 韋冬, 明田川正人, レーザダイオード正弦波周波数変調変位計測干渉計における強度変調の影響, 精密工学会2017年春季大会, 2017, D21.

(4) 山本巴, 長谷川文唯, 樋口雅人, Duong Quang Anh, Vu Thanh Tung, 韋冬, 明田川正人, ルビジウム飽和吸収線を用いた780nm帯DBR周波数安定化レーザの開発と変位計測への応用, 精密工学会2017年春季大会, 2017, D04.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

明田川正人 (AKETAGAWA MASATO)

長岡技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10231854