慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	サニャックループ非線形分光によるレーザー周波数の長期安定化
Sub Title	Long-term stabilization of laser frequency by Sagnac-loop nonlinear spectroscopy
Author	長谷川, 太郎(Hasegawa, Taro)
Publisher	慶應義塾大学
Publication year	2024
Jtitle	学事振興資金研究成果実績報告書 (2023.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究では、サニャック干渉計を使った簡便なレーザー周波数安定化法の安定度向上を目指した。干渉計内部での複屈折性の排除を行うことで、長期安定度を向上させることができた。 レーザーの光周波数は、数GHz以上の範囲でふらついていることが知られている。このレーザー周波数を一定に保つ「レーザー周波数の安定化」は、高分解能分光・超精密原子時計・量子状態制御などの基礎物理実験において非常に重要である一方、超高密度光通信など実用的な重要性も極めて高い。レーザー周波数安定化には、原子や分子の遷移周波数とレーザー周波数が一致するようにレーザーにフィードバックをかける。そのフィードバックの方法はいろいろあるが、サニャック干渉計を使う方法は極めて簡便であるにもかかわらず、非常に高精度になる。本研究では、この方法の長期的な安定度を向上させる目的で、偏光に依存しない干渉計でレーザー周波数を安定化し、その安定度を評価した。 実験では、波長1560nmの半導体レーザーの第2次高調波を、ルビジウム原子のD2遷移に安定化した。従来の同様のセットアップでは、サニャック干渉計中で対向して進む2つの光の偏光がお互いに直交していた。従来の研究では、1時間で1MHz程度のレーザー周波数変動があった。レーザー周波数の安定度を決定する要因は、サニャック干渉計内部にある光学素子の複屈折性によるものと考えられてきた。本研究では、偏光をそろえ、かつ、干渉計内部にある複屈折光学素子を排除することで、レーザー周波数安定度の向上を目指した。その結果、1時間でのレーザー周波数変動を200kHz程度までに抑制できた。 In this study, the stability of a simple laser frequency stabilization method using a Sagnac interferometer is improved. By eliminating the birefringence within the interferometer, the long-term stability is enhanced. The optical frequency of lasers fluctuates over a range of several gigahertz. Laser frequency stabilization is not only crucial for fundamental physics experiments such as high-resolution spectroscopy, ultraprecise atomic clocks, and quantum state control, but also holds significant practical importance in applications like high-density optical communication. Laser frequency stabilization involves feedback to the laser so that its frequency matches the transition frequency of atoms or molecules. While there are various methods for the feedback system, using a Sagnac interferometer is extremely simple and highly accurate. In this study, the long-term stability of this method is improved by stabilizing the laser frequency using a polarization-independent interferometer, and the stabilized laser frequency is evaluated. In the experiment, a semiconductor laser at 1560 nm is frequency-doubled, and its frequency is stabilized to the D2 transition of rubidium atoms. In conventional setup, the polarizations of the two counter-propagating beams in the Sagnac interferometer were orthogonal to each other. Previous studies have reported laser frequency fluctuations of about 1 MHz per hour. It has been concluded that the birefringence of optical elements inside the Sagnac interferometer is a determining factor in the stability of the laser frequency. In this study, the stability of the laser frequency is improved by aligning the polarizations and eliminating the birefringent optical elements inside the interferometer. As a result, the laser frequency fluctuations are suppressed to about 200kHz per hour.
Notes	
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=2023000010-20230065

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

2024年2月22日

2023年度　学事振興資金（個人研究）研究成果実績報告書

研究代表者	所属	理工学部	職名	専任講師	補助額	200千円（B）
	氏名	長谷川 太郎	氏名（英語）	Taro Hasegawa		

研究課題（日本語）

サニャックループ非線形分光によるレーザー周波数の長期安定化

研究課題（英訳）

Long-term stabilization of laser frequency by Sagnac-loop nonlinear spectroscopy

１．研究成果実績の概要

本研究では、サニャック干渉計を使った簡便なレーザー周波数安定化法の安定度向上を目指した。干渉計内部での複屈折性の排除を行うことで、長期安定度を向上させることができた。

レーザーの光周波数は、数GHz以上の範囲でふらついていることが知られている。このレーザー周波数を一定に保つ「レーザー周波数の安定化」は、高分解能分光・超精密原子時計・量子状態制御などの基礎物理実験において非常に重要である一方、超高密度光通信など実用的な重要性も極めて高い。レーザー周波数安定化には、原子や分子の遷移周波数とレーザー周波数が一致するようにレーザーにフィードバックをかける。そのフィードバックの方法はいろいろあるが、サニャック干渉計を使う方法は極めて簡便であるにもかかわらず、非常に高精度になる。本研究では、この方法の長期的な安定度を向上させる目的で、偏光に依存しない干渉計でレーザー周波数を安定化し、その安定度を評価した。

実験では、波長1560 nmの半導体レーザーの第2次高調波を、ルビジウム原子のD2遷移に安定化した。従来の同様のセットアップでは、サニャック干渉計中で対向して進む2つの光の偏光がお互いに直交していた。従来の研究では、1時間で1 MHz程度のレーザー周波数変動があった。レーザー周波数の安定度を決定する要因は、サニャック干渉計内部にある光学素子の複屈折性によるものと考えられてきた。本研究では、偏光をそろえ、かつ、干渉計内部にある複屈折光学素子を排除することで、レーザー周波数安定度の向上を目指した。その結果、1時間でのレーザー周波数変動を200 kHz程度までに抑制できた。

２．研究成果実績の概要（英訳）

In this study, the stability of a simple laser frequency stabilization method using a Sagnac interferometer is improved. By eliminating the birefringence within the interferometer, the long-term stability is enhanced.

The optical frequency of lasers fluctuates over a range of several gigahertz. Laser frequency stabilization is not only crucial for fundamental physics experiments such as high-resolution spectroscopy, ultraprecise atomic clocks, and quantum state control, but also holds significant practical importance in applications like high-density optical communication.

Laser frequency stabilization involves feedback to the laser so that its frequency matches the transition frequency of atoms or molecules. While there are various methods for the feedback system, using a Sagnac interferometer is extremely simple and highly accurate. In this study, the long-term stability of this method is improved by stabilizing the laser frequency using a polarization-independent interferometer, and the stabilized laser frequency is evaluated.

In the experiment, a semiconductor laser at 1560 nm is frequency-doubled, and its frequency is stabilized to the D2 transition of rubidium atoms. In conventional setup, the polarizations of the two counter-propagating beams in the Sagnac interferometer were orthogonal to each other. Previous studies have reported laser frequency fluctuations of about 1 MHz per hour. It has been concluded that the birefringence of optical elements inside the Sagnac interferometer is a determining factor in the stability of the laser frequency. In this study, the stability of the laser frequency is improved by aligning the polarizations and eliminating the birefringent optical elements inside the interferometer. As a result, the laser frequency fluctuations are suppressed to about 200 kHz per hour.

３．本研究課題に関する発表

発表者氏名（著者・講演者）	発表課題名（著書名・演題）	発表学術誌名（著書発行所・講演学会）	学術誌発行年月（著書発行年月・講演年月）
長谷川太郎	サニャック分光レーザー周波数安定化の長期安定度改善	日本物理学会　2024年春季大会	2024年3月20日