

E 9

半導体レーザーの周波数追従と広帯域可変技術

Frequency Tracking and Wideband Sweep of Semiconductor Lasers

久保木勝彦, 加藤徹, 大津元一

Katsuhiko KUBOKI, Toru KATO, Motoichi OHTSU

東京工業大学 総合理工学研究科

Graduate School at Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology

1. まえがき

我々は半導体レーザーをコヒーレント光計測やコヒーレント光通信などへ応用するために、注入電流負帰還制御によって半導体レーザーのコヒーレンスを向上させる研究を行っている。今回特に他の高コヒーレントレーザーへの周波数追従、および周波数の安定な広帯域可変を可能にする半導体レーザーの周波数オフセット・ロックについて御報告する。周波数追従の技術はヘテロダイン光計測やヘテロダイン光通信の応用で、また広帯域可変の技術は高分解能レーザー分光や周波数多重光通信の応用で重要と思われる。この周波数オフセット・ロック方式はすでに気体レーザーにおいては良い結果が報告されている。

2. 実験方法

実験では2台の $0.83 \mu\text{m AlGaAs}$ レーザを用い、一方をマスターレーザー、他方をスレーブレーザーとした。2台のレーザーは十分安定に温度制御されており、またマスターレーザーはファブリペロー干渉計を周波数基準として用いてその周波数が安定化されている。

図1のAに周波数オフセット・ロックの原理図を示す。APDによって検出された2台のレーザー間のビート信号は、デジタル位相比較器で周波数シンセサイザからの信号との位相を比較される。そしてこの2つの信号の位相差が常に0となるようにスレーブレーザーの注入電流に負帰還される。ここでシンセサイザの周波数を掃引するとそれに追従してスレーブレーザーの周波数も掃引される。図1のBにマスターレーザー周波数 ν_M 、スレーブレーザー周波数 ν_s 、シンセサイザ周波数 ν_i の相互関係を示す。

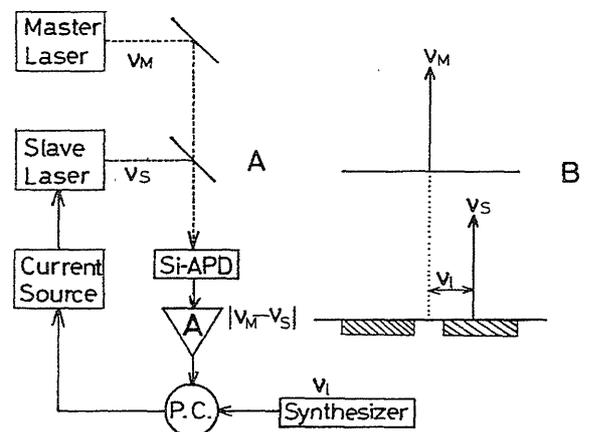


図1 周波数オフセット・ロックの原理
A: 装置 (P.C. はデジタル位相比較器)
B: 周波数軸上での ν_M, ν_s, ν_i の相互関係
斜線部が周波数オフセット・ロック可能範囲

実際の実験ではビート信号をプリスケアラを用いて分周しており、その分周率 M はビート周波数が 700 MHz 以下の時は 500 、それ以上の時は 2000 である。この実験ではビート信号とデジタル周波数シンセサイザの信号とを位相で比較しているのでビート周波数のドリフトが抑圧され長期の周波数安定度が良くなる。ビート周波数の変動を定量的に評価するためにアラン分散 $\sigma \nu^2$ の平方根を用いた。

3. 実験結果と考察

(A) スレーブレーザーの周波数追従度

周波数オフセット・ロックの性能評価としてまずビート周波数の安定度を測定した。図2にビート周波数の時間的変化を示す。図のAの部分はフリーランニング時、Bの部分が周波数オフセット・ロック時のものである。

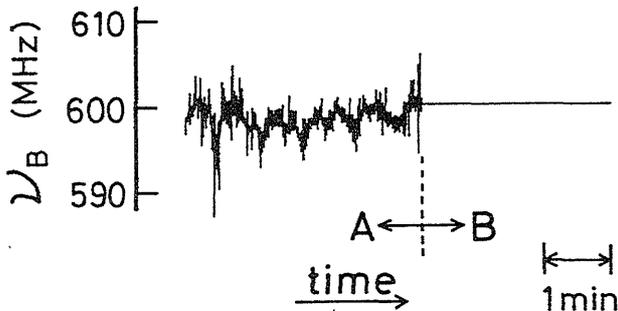


図2 ビート周波数の時間的変化
A: フリーランニング時
B: 周波数オフセット・ロック時

このビート周波数の変動 $\delta \nu_B(t)$ を定量的に評価するためにアラン分散 $\sigma_{\nu_B}^2$ の平方根を計算し、その結果を図3に示す。

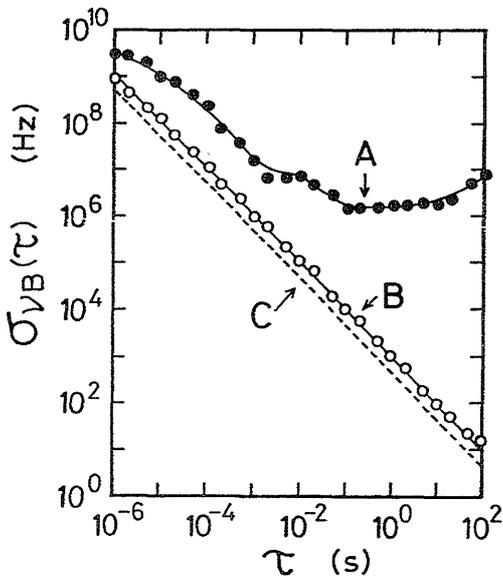


図3 ビート周波数変動のアラン分散の平方根
A: フリーランニング時
B: 周波数オフセット・ロック時
C: 測定系のノイズによる限界値

図3のカーブAはフリーランニング時、カーブBは周波数オフセット・ロック時のアラン分散の平方根である。カーブCは測定系のノイズによる限界値を示している。

ところでマスターレーザ周波数、ビート周波数の残留周波数変動は互いに無相関と考えられるので、スレーブレザの周波数変動のアラン

分散 $\sigma_{\nu_S}^2$ は次のように書ける。

$$\sigma_{\nu_S}^2 = \sigma_{\nu_M}^2 + \sigma_{\nu_B}^2 \quad (1)$$

今回の実験の結果、 $\sigma_{\nu_M}^2 \gg \sigma_{\nu_B}^2$ であったので上式は次のように書き換えられる。

$$\sigma_{\nu_S}^2 = \sigma_{\nu_M}^2 \quad (2)$$

つまりスレーブレザの周波数がマスターレーザの周波数に高精度で追従しているといえる。すなわちマスターレーザの高コヒーレンスがスレーブレザに移乗したといえる。

図3において周波数オフセット・ロック時のビート周波数安定度のアラン分散の平方根は次のような式で表わせる。

$$\sigma_{\nu_B} = 1.1 \times 10^3 \times \tau^{-1} \quad (\text{Hz}) \quad (3)$$

$(1 \mu\text{s} \leq \tau \leq 100 \text{s})$

(B) スレーブレザ周波数の可変範囲

ビート周波数の値はデジタル周波数シンセサイザの周波数設定値を変えることによって変えることができる。今回の実験で、周波数オフセット・ロックが可能な最小のビート周波数の値は0.08 GHzであった。そこでこの値以上の範囲でデジタル周波数シンセサイザを手動で変化させ、20 MHzずつビート周波数の値を大きくしていった時の結果を図4に示す。

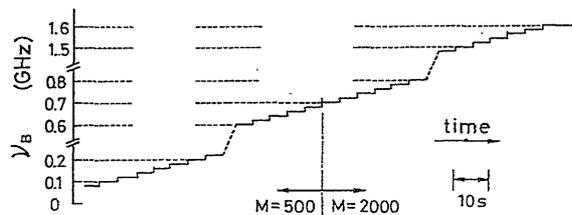


図4 ビート周波数の掃引可能範囲

図4から分かるようにビート周波数の可変範囲の上限は1.6 GHzであった。したがって周波数オフセット・ロック可能なビート周波数の可変範囲は0.08 GHz ~ 1.6 GHzの1.52 GHzであった。またこの周波数範囲において、分周率と同じ範囲ではビート周波数の値によらずほぼ一定な値であった。

このように周波数オフセット・ロックによってスレーブレザの周波数を安定に保ったまま広帯域に掃引することが可能となる。