レーザーオリジナル

負帰還法による光ディスクシステムの
レーザーノイズ低減

近藤 光重*・伊藤 修**・木目 健治朗*

(1990年2月19日 受理)

Laser Noise Reduction by Negative Electrical Feedback
in Optical Disk Systems

Mitsushige KONDO*, Osamu ITO** and Kenjiro KIME*

(Received February 19, 1990)

Reduction of laser diode noise was examined by using negative electrical feedback. A laser output noise level was reduced by 14dB in the frequency range below 22 MHz, but was increased above 22 MHz. The experimental result was in good agreement with a theory. The noise level in reading out a video disk was reduced by 3dB to the disk noise level without feedback, and the carrier-to-noise ratio was increased by 3dB consequently.

Key Words : Electrical feedback laser noise reduction.

1. まえがき

半導体レーザーは、He-Ne等のガスレーザーにくらべ小型軽量、駆動回路簡易、長寿命であり光ディスク装置等の光源として適当である。しかし、ディスク・光学系等の異方性により戻り光が発生し、その戻り光が半導体レーザー発光面へ再入射し、出射光ノイズが増大し、また温度・パワー変化による出射光ノイズの変動等も加わる。これらの対策として、半導体レーザー素子自体の改良が行われると同時に、各種ノイ

ズ低減策もとられてきた。半導体レーザーに過剰に戻り光を発生させると発振縦モードがマルチモードになり、ノイズが軽減される^{1,2)}、しかしこの方法は、ハーフミラーによる透過光の減少によりディスク上のレーザーパワーが小さくなる欠点がある。また、高周波重畳により発振縦モードをマルチモード化し、系のノイズ増大を軽減する³⁾試みもなされた。高周波重畳による方法は、半導体レーザーの駆動電流を変調する600 MHz～1 GHzの高周波信号源を必要とし、その信号源の不要輻射を許容値以下に抑

*三菱電機株式会社電子商品開発研究所 (〒617 京都府長岡京市馬場岡所1)

**三菱電機株式会社産業システム研究所 (〒661 兵庫県尼崎市塚口本町8-1-1)

*Consumer Electronics Development Laboratory, Mitsubishi Electric Corporation (1 Zusho Baba, Nagaokakyo, Kyoto 617)

**Industrial Electronics & Systems Development Laboratory, Mitsubishi Electric Corporation (8-1-1 Honmachi Tsukaguchi, Amagasaki, Hyogo 661)

えるのが非常に難しい。

ここではこれらの欠点がない方法として、半導体レーザーの出射光のノイズ成分を光検知器により光电変換し、ノイズ成分と逆位相の信号で半導体レーザーを変調することにより半導体レーザー出射光のノイズ成分を低減させる負帰還法によるノイズ低減法^{4,5)}について検討した結果について述べる。この方法は、He-Neレーザー等のガスレーザーのノイズ成分除去法として、外部変調器を併用して行われてきた⁶⁾。半導体レーザーは、レーザー自体変調可能であるので、ガスレーザーより負帰還法によるノイズ低減が容易にできる長所がある。本論文は、この負帰還法によってノイズの低減の出来ることについて理論的実験的な結果を述べたものである。

2. 理論

負帰還法によるノイズ低減系を組み込んだ光ヘッドの一例をFig. 1に示す。半導体レーザー(LD)の前方出射光は対物レンズ(OBJ)によりディスク上に集光され、ディスク上の情報を読み取るようになっている。ディスク上の情報を含む反射光は偏光ビームスプリッター(PBS)により照射光路と分離され光検知器(DET2)により電気信号に変えられる。トラッキングフォーカシングのためのセンサー及びアクチュエータは本実験と関係ないので省略した。

負帰還法による半導体レーザーノイズ低減系について説明する。半導体レーザー前方出射光の一部をビームスプリッター(BS)により分離し、光検知器(DET1)にて電気信号に変換し増幅器(AMP)にて増幅しその出力をDC出力を除き半導体レーザーに印加する。その際、半導体レーザー出射光のゆらぎを低減させるよう半導体レーザー、ビームスプリッター、光検知器、増幅器より構成される閉ループ系は負帰還系となっている。従来の光ヘッドではBS, L2, DET1, AMPより構成されるノイズ低減系がない。

なお、半導体レーザーの後方出射光は前方出射光のパワー制御には使用できるが、前方出射

Fig.1 Schematic diagram of the optical head. LD, laser diode; L1, L2, lens; BS, beam splitter; DET1 and DET2, detector; AMP, amplifier; DC, DC power supply; PBS, polarization beam splitter; M, mirror; QP, quarter-wave plate; RCM, radial control mirror; OBJ, objective (NA = 0.5); CL, cylindrical lens; SIG, signal output.

光のノイズ低減には適さない。なぜなら前方出射光と後方出射光のノイズ相関が完全ではなく⁵⁾、後方出射光を用いてはノイズの低減がされないからである。ただし、従来の光ヘッドに用いられているように、後方出射光とALPC回路(自動レーザーパワー制御回路)により前方出射光のパワーのみを制御する方法は有効である。

Fig. 1のノイズ低減系をモデル化したものをFig. 2に示す。 $N_1(j\omega)$ は半導体レーザーのノイズ振幅を駆動入力電流換算で表したものである。 $G_1(j\omega) \sim G_7(j\omega)$ は周波数伝達関数で、 $G_1(j\omega)$ は半導体レーザーの駆動電位に対する出射光パワーを、 $G_2(j\omega)$ は半導体レーザーからハーフミラーまでの光伝達率を、 $G_3(j\omega)$ は

Fig.2 Block diagram showing parameters of the noise reduction system.

ハーフミラーの反射率を, $G_4(j\omega)$ はハーフミラーから光検知器までの光伝達率を, $G_5(j\omega)$ は光検知器の光電変換効率を, $G_6(j\omega)$ は増幅器の特性を, $G_7(j\omega)$ はハーフミラーの透過率を表す。 $N_o(j\omega)$, $N_r(j\omega)$ はハーフミラー透過光のノイズ振幅で, $N_o(j\omega)$ はノイズ低減無し, $N_r(j\omega)$ はノイズ低減有りを表す。帰還制御系の理論によると, 前向き伝達関数を $G_f(j\omega)$, フィードバック伝達関数を $G_b(j\omega)$ とすると閉ループ系の伝達関数 $G_c(j\omega)$ は

$$G_c(j\omega) = \frac{G_f(j\omega)}{1 + G_f(j\omega)G_b(j\omega)} \quad (1)$$

となる⁷⁾。よってノイズ低減有りの場合のハーフミラーを透過した光のノイズは

$$N_r(j\omega) = G_7(j\omega)G_c(j\omega)N_1(j\omega) \quad (2)$$

となる。ここで

$$G_f(j\omega) = G_1(j\omega)G_2(j\omega) \quad (3)$$

$$G_b(j\omega) = G_3(j\omega)G_4(j\omega)G_5(j\omega)G_6(j\omega) \quad (4)$$

である。またノイズ低減無しの場合のハーフミラーを透過した光のノイズは

$$N_o(j\omega) = G_7(j\omega)G_f(j\omega)N_1(j\omega) \quad (5)$$

と表される。従ってノイズ低減された振幅は元の半導体レーザーのノイズ振幅 $N_o(j\omega)$ を用いて次式の通り求められる。

$$N_r(j\omega) = \frac{N_o(j\omega)}{1 + G(j\omega)} \quad (6)$$

ここで $G(j\omega)$ は一巡伝達関数で

$$\begin{aligned} G(j\omega) &= G_f(j\omega)G_b(j\omega) \\ &= G_1(j\omega)G_2(j\omega)G_3(j\omega)G_4(j\omega) \\ &\quad \times G_5(j\omega)G_6(j\omega) \end{aligned} \quad (7)$$

である。

3. 実験, 結果

3.1 半導体レーザーのノイズ低減

Fig. 1 に示す系で, ビームスプリッター透過光のノイズを調べた。半導体レーザーはTJSレーザー(780nm)で, L1として対物レンズ(NA=0.5)を用いた。

Fig. 3 は元のレーザーノイズと負帰還法を行った場合のレーザーノイズを示している。20 MHz以下の低域では低域で約14dBノイズが低減されている。周波数 $f_B (= 22 \text{ MHz})$ 迄はノイズが低減されるが, f_B 以上の周波数では逆にノイズが増大している。このことをさらに詳細に検討するために, この系のオープンループ特性を測定したのがFig. 4である。位相は, ほぼ直線的に遅れ特性を示しており, 15 MHz以上では低減の効果は少ない。この特性より式(6)を用いて予測されるノイズ低減量を計算したものをFig. 5に示す。比較のために, Fig. 5にはFig. 3の測定値も同時に記入している。低域ではノイズが低減されるが, ある周波数 f_B 以上ではノイズが増大する点で制御理論による予想値と実測値はよく一致している。高域のノイズ増大部分は, その装置の使用周波数領域より高

Fig.3 Noise level of laser output light versus frequency in the two states of switch on and off of feedback. Horizontal, 5MHz/div; Vertical, 10dB/div.

Fig.4 Open loop transfer characteristics.

域にもっていく必要がある。これらのことは、増幅器における制御理論がほぼ理論通りに成立することを示している。より安定で、しかも帰還量の大きいフィードバック系を実現するためには出来るだけ開ループ系の高域における位相

遅れを小さくする必要がある。

Fig. 6 は、戻り光無しの場合と戻り光によりノイズを約14dB増大させた場合のそれぞれについて、負帰還法によるノイズ低減を行った実験結果である。戻り光によりノイズが増大した

Fig. 5 Reduced noise value as a function of frequency. Solid curve, experiment; Dotted curve, calculated.

(a)

(b)

Fig. 6 Noise level of laser output light versus frequency without optical feedback (a) and with optical feedback (b). ON, noise reduction on; OFF, noise reduction off; Horizontal, 5MHz/div; vertical, 10dB/div.

場合も同様にノイズ低減効果のあることが確認された。

(a)

(b)

Fig. 7 Frequency spectra of the signals from the signal output (Fig. 1) without noise reduction (a) and with noise reduction (b). Horizontal, 2 MHz/div; vertical, 10dB/div; width of scanning filter, 30 KHz.

3.2 再生実験

Fig. 7 はFig. 1 の光ヘッド系を用いて測定した再生結果である。本方法によりC/N (carrier-to-noise ratio) は56dBから59dBに改善されてい

る。キャリアレベルは変化しないが、Bの周波数域（8～10MHz）のノイズレベルが約3dB低減されていることが分かる。Aの周波数域のノイズ、すなわち周波数が高くなるほど直線的傾斜状に下がってくるノイズは、光ディスク再生面の粗さ等により再生時生ずるディスクノイズと思われる。再生系のS/Nを如何に改善してもこのディスクノイズレベル以下にはならない。Fig. 7 (b)では約9MHz迄ディスクノイズの直線的傾斜状の特性が現れており、このノイズレベルで再生のC/Nが制限されている。半導体レーザー自体の本帰還法によるノイズ低減効果はBの周波数域でFig. 3の結果から約11dBであり、実際の光ヘッド系に用いて光ディスク再生時に得られた約3dBのノイズ低減は、ディスクノイズによって本帰還法によるノイズ低減効果がマスクされたものと考えられる。さらにC/Nが良好でディスクノイズの小さいディスクが出てきたときには、ノイズ低減効果がより顕著になると予想される。

4. 考察

本実験結果からは、雑音は光パワーの変化（振幅）雑音であるから振幅変調によって制御理論通りに低減されているのだと思われる。戻り光の有無にかかわらずある周波数以上では逆にノイズが増大していることからして、戻り光によって発生する縦モード競合を抑止する効果、すなわち縦モードを安定化する効果はない。従って、単一モードの光ファイバーを用いる光通信等への適用は難しい。しかし、光ディスク装置への応用では、必要帯域内の光パワーの変化雑音を抑えればよく、実際ビデオディスクでは12MHz迄ノイズ低減されていればよいので、本方法によるノイズ低減法は有効である。

ノイズ低減量の増大およびノイズ低減帯域の拡大には、開ループ系の周波数特性を改善する必要がある。半導体レーザーの変調特性は200MHz以上あるので、現状の特性は光検知器、増幅器の特性で制限されていると予想される。ただ、半導体レーザー（LD）、ビームスプリッター

（BS）、光検知器、増幅器より構成されるループ系の長さは位相遅れとなるので、できるだけこの系の距離を小さくする必要があり、半導体レーザーのパッケージ内にこれらの系を組み込めば特性上有利となる。

ALPC回路とレーザーノイズ低減回路を同一の増幅器を用いて構成できれば非常に装置系が簡略化される。しかし、DCから高周波まで良好なS/Nで増幅できる適当な増幅素子がなく、今回はノイズ低減のみとした。今後検討に値する。

5. むすび

帰還法によりノイズ低減されることが半導体レーザー自体、および半導体レーザーを組み込んだ光ディスク再生装置で確認された。CD（コンパクトディスク）のような簡便な光ディスク装置では、半導体レーザーに過剰に戻り光を発生させる方法が用いられてきた。また、高周波重畳によるノイズ低減法も各種用途で試みられてきた。以上の方法は、レーザー自身のノイズは多少増大するが戻り光に対するノイズ増大を大幅に抑える効果があり、このような装置には有効だった。一方、ビデオディスク装置、コンピューター端末のライトワンス（W/O）・リライタブル（R/W）光ディスク装置等では、さらにS/Nの向上が必要になって来る。そのような用途には、レーザー自体のS/N向上に有効な帰還法が有利である。さらに、高密度化等の用途には、使用周波数帯域幅の拡大が必要になるが、半導体レーザーの周波数特性は現状200MHz以上有り、光検知器、増幅器系の周波数特性改善によって数倍程度の帯域幅拡大は可能と思われる。

帰還法は、レーザー光の雑音（光パワーの微小変化）を必要な帯域内で抑える方式であり、半導体レーザーの発振縦モードを安定化することは出来ない。そのため、単一モードファイバーを用いる光通信等には適当でない。

最後に、本論文をまとめるにあたり種々の御指導をいただいた静岡大学電子工学研究所畑中

義式教授，本研究の御指導をいただいた当社産業システム研究所久保高啓博士に感謝します。

参 考 文 献

- 1) R.O. Miles, A. Dandridge, A.B. Tveten, T.G. Giallorenzi and H.F. Taylor : Appl. Phys. Lett. 38 (1981) 848.
- 2) 近藤, 木目, 鹿間, 河野, 田村 : 三菱電機技報58 (1983) p.4.
- 3) M.Ojima, A.Arimoto, N.Chinone, T.Gotoh and K.Aiki : Appl. Opt. 25 (1986) 1404.
- 4) 近藤, 伊藤, 上村 : 第28回応物学会予稿集 (1981, 春) p.215.
- 5) 伊藤, 近藤, 上村 : 第28回応物学会予稿集 (1981, 春) p.216.
- 6) G. Forgo and M.J.O. Strutt : Electron. Lett. 3 (1967) No.12, 547.
- 7) 近藤文治, 西原宏, 岩井壮介 : 電子制御工学 (電子通信学会大学講座 第25巻, コロナ社, 東京) p.24.