レーザーレター

レーザーダイオードとErドープ
YAGを用いた光インバータ

前 田 佳 伸*

(1992年9月2日 受理)

Optical Inverter using Laser Diodes
and an Er-doped YAG

Yoshinobu MAEDA*

(Received. September 2. 1992)

An Optical inverter was demonstrated through a purely optical approach in a simple structure of combining a laser diode with an Er: YAG crystal. The intensity of an output laser transmitted through the Er: YAG can be suddenly decreased by increasing an injection current to the laser diode to put the oscillation wavelength of the laser close to the central absorption peak of the Er: YAG at 787.6nm. With the use of this effect, the optical signal inversion was realized at a response time of several nanoseconds because it responds to the laser diode output with a rise time of 7nsec.

Key words: Optical inverter. Er-doped YAG. Laser diode.

1. はじめに

オプトエレクトロニックデバイスは、光の持つ広帯域特性と空間並列特性が利用でき、電子デバイスより高速な動作が本来的に可能であるということと、光学が備えもつ空間並列性の利用という優れた特性を有することから光論理機能素子としての発展が今後期待されている¹⁾。光機能回路を構成していく上で、光インバータ回路は基本要素であり、種々の型の素子が提案されている²⁻⁴⁾。例えば、半導体レーザー(LD)や発光ダイオードと光検出器(PD)を組み合わせ

せた簡単な構成の光双安定素子を用いて、光論理素子を構成する方法が提案されている²⁾。本報告では半導体レーザーの注入電流増加による発振波長の長波長化とErbiumドープYttrium Aluminum Garnets (YAG)の狭い吸収スペクトルを用いて純光学的に光インバータが実現することを示す。

2. 実験方法および結果

Fig. 1は測定系の概略を示す。光源には単一横モード(縦モード: シングル) GaAlAs高出力半導体レーザーを用い、温度調節することにより発振波長を安定させた。試料としては直径

*新技術事業団, 「光と物質」領域グループ, 豊田工業大学制御情報工学科 (〒468 名古屋市天白区久方2-12-1)

*"Light and Material" Group. PRESTO. Research Development Corporation of Japan (JRDC), Department of Information and Control Engineering. Toyota Technological Institute. Hisakata. Tempaku. Nagoya 468

Fig. 1 Experimental configuration.

3mm×長さ3mmの50at.% Er ドープYAGを用いた。デジタルオシロスコープと光検出器を用いて光波形および強度測定を行った。LD出力としては立ち上がり時間7nsecのドライバーを調節して、Fig. 2 (f)に示すような注入電流量が75および99mAである矩形パルス光を得た。Fig. 2 (a) - (e)は温調器を用いてレーザーヘッドの周囲温度をそれぞれ30, 34, 36, 38, 44℃と変化させた場合について、試料を透過した後のレーザー光出力波形を示す。同図より透過した後の光出力波形はレーザーヘッド温度に依存して変化し、Fig. 2 (c)の36℃においては光入力波形(f)に対して光強度が反転しているのが観測された。また、この光出力の反転現象は、立ち上がり時間7nsecの光入力に追従している。Fig. 3は27℃におけるEr: YAGの吸収スペクトルであり、787.6nmが中心である吸収ピークが観測されている(図中A点)。Fig. 4はレーザーヘッドの温度を変化させたときの注入電流75および99mAの単形パルスのそれぞれの中心発振波長を示す。同図より75および99mAにおける中心発振波長はそれぞれレーザーヘッドの温度を増加するに従って長波長側に変化しており、特に光出力反転の生じている36℃においては99mAにおける中心発振波長は787.7nmとFig. 3で示したEr: YAGの吸収ピークにほぼ一致している。

3. 考察

Fig. 3より、Er: YAGは787.6nmに中心吸収ピークが存在する。この吸収ピークはYAG中の Er^{3+} の内殻遷移 $^2\text{H}_{11/2} - ^4\text{I}_{13/2}$ に相当するものである⁵⁾。一方、レーザーヘッドの温度を調

Fig. 2 (a) - (e) Output waveforms after transmitting through Er: YAG at the laser-head temperature from 30 to 44℃. (f) Input waveform.

節してLDの発振波長をその吸収ピークに近づけることにより、透過出力光を急激に減少させることができることを確認した。この現象を利用して、例えばレーザーヘッドの温度を36℃一定に保持し、Fig. 2 (f)のような入力光パルス

Fig. 3 Absorption spectra of Er:YAG at 27°C.

Fig. 4 Dependence of the wavelength of laser on the laser-head temperature.

をEr:YAGに入射させると、出力強度が反転する光インバータが実現する。一般に、LDにおいては光出力の増加に伴って、発振波長が長波長側に次第にずれる⁶⁾。これは注入電流の増加に伴ってレーザーの活性領域の温度が上昇するためである。また、Fig. 4に示したように一定の駆動電流においても発振波長に温度依存性がある。ゆるやかな温度依存性は主として屈折率

の温度依存性によるもので、縦モードのとはは禁制幅変化によるものである。以上述べたように、この光反転現象はLDの発振波長の長波長化 (Red shift) とEr:YAGの狭い吸収スペクトルを組み合わせることで実現したものである。従って、この素子をORION (Optical devices by Red shift of laser diodes and Inversion in Optical absorber of Narrow spectral bandwidth) と名付ける。このORIONの特長は、第一に純光学的に光反転を実現していることであり、第二に光増幅作用があるLDを内在しているため、光論理回路を多段接続することが可能であることである。実際の素子としては、Er:YAGをLDの共振器中に形成することにより薄膜化し、更にホトランジスタを一体化した構造を形成することが望ましいと考えられる。そのような素子構造にすれば、前段からの光信号をホトランジスタで受けて、その出力電流をLDの注入電流にすることにより全光型光論理素子を形成することが可能となる。一方、現在のところ7nsecの立ち上がり時間のLD出力に対して応答していることから少なくとも7nsec以下の応答時間でこのインバータは動作するものと考えられる。従って、LDを高速変調すればそれだけ応答時間が短くなることが予想されるが、実際には緩和振動などの影響のためLD自身の応答時間は最短サブnsec程度になり⁷⁾、これがこの素子の応答時間を律則する要因となると考えられる。他方、Er:YAG単体の変換速度はまだ測定していないので、半導体レーザー以外的高速変調レーザーを用いて精密な測定をする必要がある。

4. 結論

半導体レーザーとEr:YAG結晶を組み合わせた簡単な構造で純光学的な光インバータを実現した。この光インバータはレーザーヘッドの温度を調節することにより、LDの発振波長をEr:YAGの ${}^2\text{H}_{11/2} - 4\text{I}_{13/2}$ の吸収ピークに近づけた場合に生じることがわかった。また、この現象は7nsecの立ち上がり時間を有するLD出力に応答していることから、少なくとも7nsec以下

の応答時間で生じることが確かめられた。

謝辞

本研究を進める上で御協力を頂いた本学の右高正俊教授ならびに大澤潤助教授に感謝致します。本研究の一部は文部省科学研究補助金「奨励研究(A)」によるものであり感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 伊藤弘昌：電子通信情報学会誌 **71** (1988) 791.
- 2) 奥村謙一郎，小川洋，伊藤弘昌，稲場文男：電子通信学会論文誌 **J66-C** (1983) 393.

- 3) M. Yamaguchi and K. Kikuchi: Electron. Lett. **23** (1987) 120.
- 4) F. R. Beyette Jun., S. A. Feld, X. An, K. M. Geib, M. J. Hafich, G. Y. Robinson and C. W. Wilmsen: Electron. Lett. **27** (1991) 497.
- 5) Y. Shimony, Y. Kalisky, H. Lotem, Z. Goldbart and J. Kagan: J. Appl. Phys. **68** (1990) 2966.
- 6) M. Nakamura: IEEE Trans. Circuits and Systems. **CAS-26**. (1979) 1055.
- 7) P. T. Ho: Picosecond Pulse Generation with Semiconductor Diode Lasers in Picosecond Optoelectronic Devices. ed. by C. H. Lee. Academic Press.