

“高耐圧トランジスタによるレーザの直接電流変調”

“Direct Current Modulation of Gas and Semiconductor Laser with High Voltage Transistor”

十文字 正憲 馬場 光之 馬場 明 増田 陽一郎

M. Jyumonji M. Baba A. Baba Y. Masuda

ハヤ工業大学 工学部 電気工学科

Department of Electrical Engineering, Hachinohe Institute of Technology

1. はじめに

レーザ・レーダに用いるレーザは一般にパルス発振のものが用いられており、レーザのパルス変調技術には不可欠のものと言える。これらの中で最も簡便な直接電流変調用素子としては、これまで送信管や高耐圧SCRが用いられてきた。ところが最近、半導体技術の急速な進歩に伴い、高速高耐圧のトランジスタが入午可能となり、極めて高速で大電流、又は高電圧を発生できるパルスが実現できるようになってきた。例えば、2kV程度の矩形パルスを得て強誘電体の分域反転を測定したり、又電流値の高いシングルヘテロ半導体レーザの駆動を行なうなど、従来不可能であったような新たな分野が開けてきている。¹⁾³⁾ 我々は高耐圧トランジスタを用いて半導体レーザやHe-Neガスレーザの高速変調を試み、好成績を収めたので報告したい。

2 高速大電流パルスの試作とシングルヘテロ半導体レーザへの応用

2-1 高速大電流パルスの試作

試作した回路をFig 1に示す。一般的なアバランシェトランジスタ・スイッチング回路⁴⁾である。改良点は素子の選別とリング防止用の保償コンデンサを挿入したことである。スイッチング素子には2SC1173(東芝)を用い、充電コンデンサに V_{CE} ぎりぎりの電圧で充電しておき、ベースにトリガ信号を加えることにより急速にブレークダウンさせる。電源には0~200V、0.5Aの安定化電源を用いた。

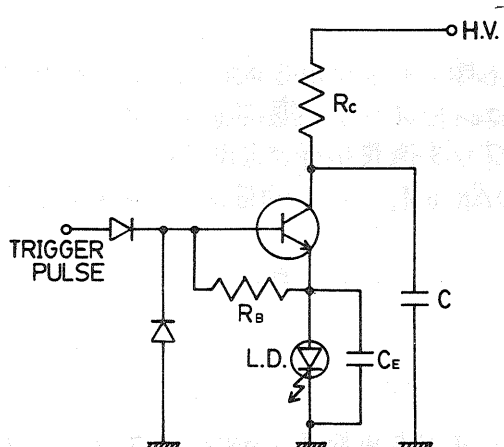


Fig 1 試作したアバランシェトランジスタパルス回路であった。

2-2 試作パルスの動作特性

動作試験は負荷の半導体レーザの代りに0.5~5Ωの純抵抗に置き換えて行なった。Fig 2は印加電圧と出力ピーク電流の関係を示すものである。出力電流は印加電圧により大幅に可変でき、パルス幅17ns、最大電流162Aを得た。このような鋭いパルスを得ようとする場合、出力パルスが振動的になることがあるが、保償コンデンサ C_E が有効である。⁵⁾

最大繰り返し数は
 $C=0.0033\mu F$ のとき
-3dBの奥で30KHz

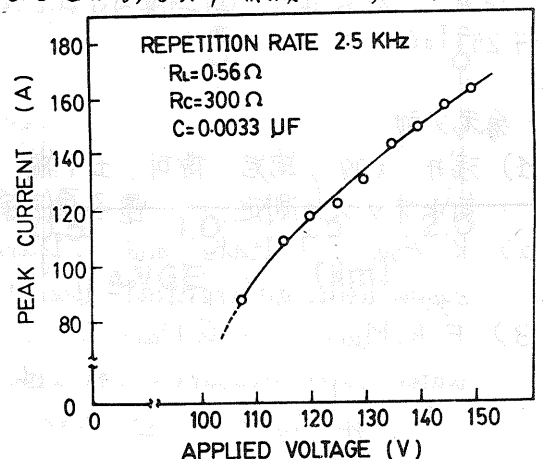


Fig 2 出力電流の印加電圧依存性

2-3 シングルヘテロ半導体レーザの駆動

試作したパルスの性能試験としてシングルヘテロ半導体レーザの駆動を試みた。レーザ素子にはレーザダイオード社のLD60を用い、レーザ光はLSD39Aにより光電変換し、帯域100MHzのオシロスコープで波形を観測した。Fig 3は注入電流と出力光強度との関係も調べたものであり、典型的なギンク特性を示しており、

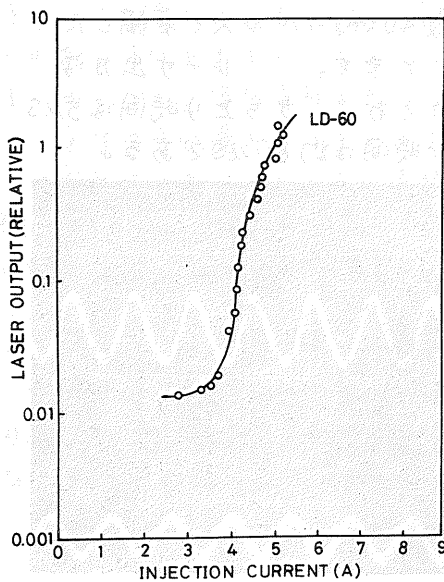


Fig 3 半導体レーザLD 60の入出力特性

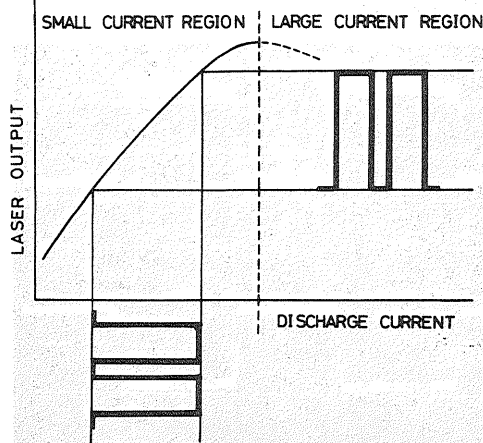


Fig 4 He-Neレーザの直接電流変調の原理図

3-2 試作した変調回路の動作特性

実験に用いたレーザチューブは Spectra-Physics 社の Model 155 である。

Fig 6 に放電電流を変えたときのレーザ出力の変化の測定結果を示す。小電流領域では直線性は比較的良好であることが判かる。

Fig 7 はトランジスタの動作点を負荷直線の中心に選り、正弦波で変調したときのレーザ出力波形を示すものである。30 KHz 程度まではこのようにきれいな正弦波が得られた。

次に、トランジスタを逆バイアスして、矩形波で駆動したときの出力波形を Fig 8 に示す。図から判るように 10 KHz の変調周波数では出力波形の乱れは殆んどない。

20 KHz 以上になると出力波形にやや歪みを生じるようになるが、これはトランジスタの応答速度が充分でないためと思われる。

これは、高耐圧トランジスタの高速化技術の進展により解決されよう。

さらに高速変調を実現するためには、ドライブ回路を変更し、スピードアップコンデンサのみでトランジスタを駆動するのが有効である。

ベースを大きい入力でパルス的に駆動し、その後すぐにターンオフするようにする。

レーザ発振しているのが確認される。最大繰り返し数は 100 KHz まで可能であった。このように試作したパルスは高出力の半導体レーザの駆動に十分な性能を有していると言える。

3. He-Ne ガスレーザの直接電流変調

3-1 変調回路の試作

He-Ne ガスレーザの直接変調は、これまで真空管を用いて実験が試みられているが、最近超高耐圧トランジスタが容易に入手できるようになったため、変調器の固体化が可能になってきた。例えば Fig 4 に示すように小電流領域において、放電電流もトランジスタによって制御することにより、レーザ出力に変調をかけることができる。Fig 5 は試作したトランジスタ式パルス変調回路を示すものである。スイッチング素子には超高耐圧の 2SC1895 (東芝) を用いている。トランジスタは常時は逆バイアスされオフになっており、正パルスで導通する。

トランジスタの C-E 間に並列に入っている抵抗は、トランジスタが非導通のとき放電が停止するのを防ぐためのものである。また、トランジスタの動作点を移動して ASD の範囲に収める役割もしている。さらに、トランジスタの保護のためサージアブソーバを C-E 間に挿入してある。

サージアブソーバは 270V のものを 2 個直列にし 540V で動作するようにした。サージアブソーバを入れなくても 2SC1895 よりさらに高耐圧の 2SD621 を用いて実験したところ、1 日間の運転でトランジスタが破壊してしまい、この方法が有効であることが確かめられた。

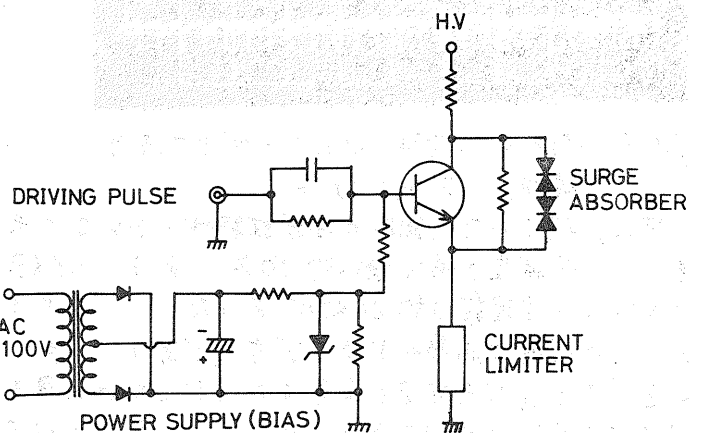


Fig 5 試作した変調器の回路図

次に、トランジスタを逆バイアスして、矩形波で駆動

したときの出力波形を Fig 8 に示す。図から判るように 10 KHz の変調周波数では出力波形の

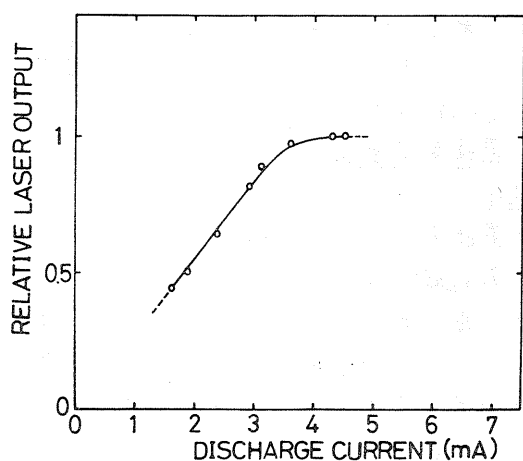
乱れは殆んどない。20 KHz 以上になると出力波形にやや歪みを生じるようになるが、これはト

ランジスタの応答速度が充分でないためと思われる。これは、高耐圧トランジスタの高速化技

術の進展により解決されよう。さらに高速変調を実現するためには、ドライブ回路を変更し、

スピードアップコンデンサのみでトランジスタを駆動するのが有効である。ベースを大きい入

力でパルス的に駆動し、その後すぐにターンオフするようにする。



パルス幅 $1\mu\text{s}$ 、繰り返し数 40kHz のパルスで変調したときのレーザ出力波形を Fig 9 に示す。レーザ出力は、 40kHz のきれいな変調を受けており、立ち上がり時間は $5\mu\text{s}$ と急峻である。立ち下り時間は約 $80\mu\text{s}$ である。

駆動パルスはパルス幅 $0.1\mu\text{s}$ ~ 数 μs の間では動作に影響を与えない。

立ち下り時間がトランジスタ

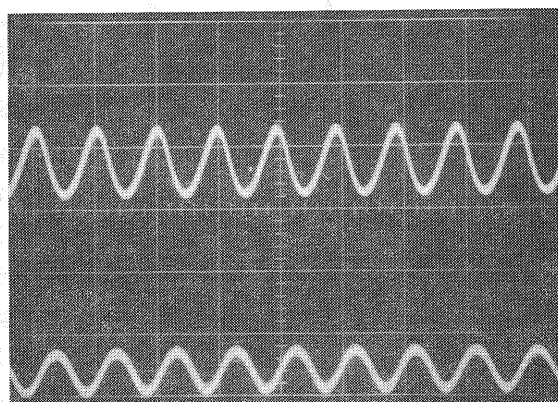


Fig 7 正弦波で変調されたレーザ出力波形
横軸 $50\mu\text{s}/\text{div}$

Fig 6 レーザ出力の放電電流依存性のターノオフ時間より長いのは、かなり強引にベースに電流を注ぎ込んでいるためと考えられるが、約 100kHz までは以上述べた方法が、最も深い良好な変調をかけることができた。

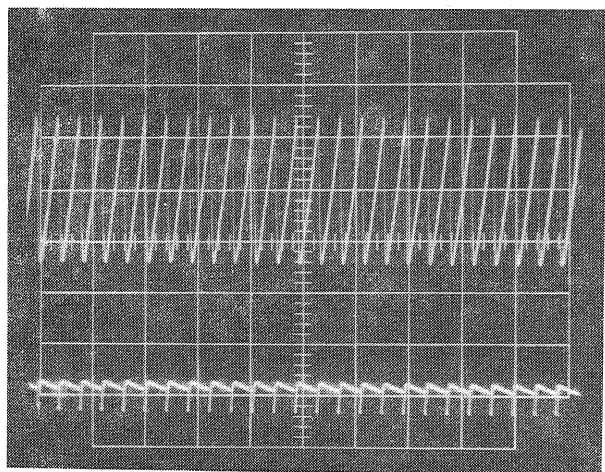


Fig 9 高速パルス変調されたレーザ出力波形
横軸 $0.2\text{ms}/\text{div}$

次に、試作した変調器の周波数特性を Fig 10 に示す。変調度の最大値は約 30% であり、 -3dB に低下する周波数は約 20kHz であった。もちろん、この状態は通常のドライブ方式であり、Fig 9 のところで述べた方法で駆動すれば 100kHz 程度まではかなり深い変調で実用できる。Fig 11 は正弦波で変調したときの周波数特性を示すものである。この場合、 -3dB の周波数はそれぞれ 35Hz と 30kHz であった。

3-3 試作回路の得失

真空管を変調素子に用いた場合、大電流領域で約 500kHz まで 100% 変調をかけた報告⁶⁾もあるがトランジスタでこの値をクリアするのも周辺いと思われろ。また、以上述べた方法の他にマグネ

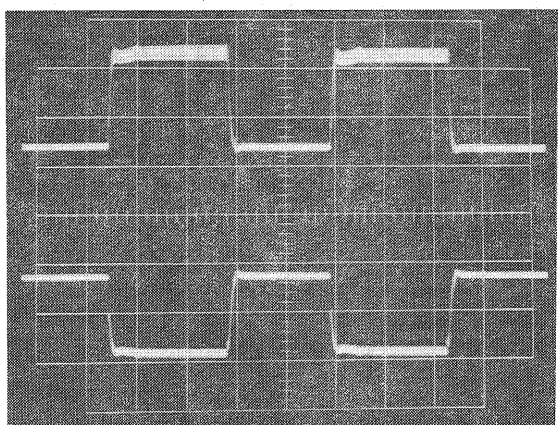


Fig 8 パルスで変調されたレーザ出力波形
横軸 $0.2\text{ms}/\text{div}$

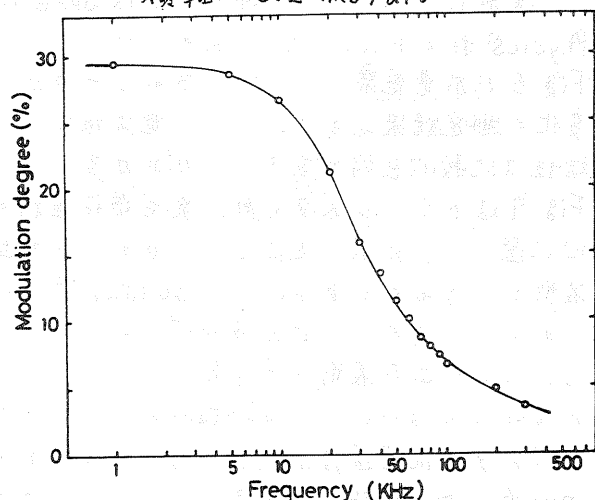


Fig 10 試作した変調器の周波数特性
矩形波で変調した場合

トロン駆動に用いるPFN回路によって駆動することも考えられるが、市販のレーザを用いて簡易変調するには以上述べた方法の方が優れているといえる。

いずれにせよ、このような直接電流変調においては、スイッチング回路の問題が解決しても、Heの準位2'Sの寿命が2μsであることから、繰り返し周波数の上限はせいぜい数MHzと予想されるが、実験室内で機械的チョップを用いるより、はるかに良好な精度で実験が可能となる。

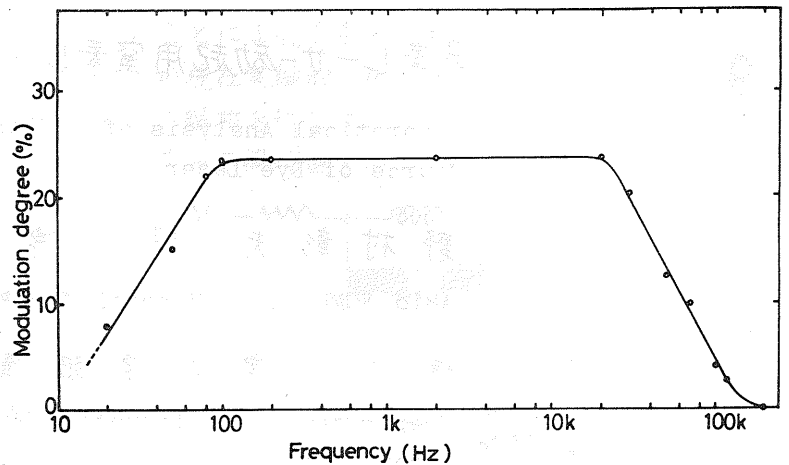


Fig. 11 試作した変調器の周波数特性
正弦波で変調した場合

4. おわりに

以上述べたように、最新の高耐圧高速スイッチング用トランジスタを用い、半導体レーザおよびHe-Neガスレーザの直接電流変調を試み、好成績を得ることができた。

今後さらに高速、高繰り返し化の改良を行なっていく。

参考文献

- 1) 十文字, 増田, 電気関係学会東北支部大会講演論文集 2610 (1978)
- 2) C. J. Kirby et al, Ferroelectrics 10, 263 (1976)
- 3) Y. Masuda, M. Jyumonji, M. Wada, Proc. of 1st Meeting on Ferroelectric Material and Their Applications, Kyoto (1977)
- 4) P. R. Prince, Proc. IEEE, 53, 304 (1965)
- 5) 十文字, 馬場, 増田, 電気関係学会東北支部大会講演論文集 2623 (1979)
- 6) 如藤, 鈴木, 応用物理 44, 30 (1975)

付録 トランジスタの動作領域について

Fig A-1 (a)において、負荷直線を求めると

$$I_C R_L + \left(\frac{R_L}{R_B} + 1 \right) V_{CE} = V_{CC} \quad (A-1)$$

となる。これを図示すると、同図(b)のようになり、 V_{CE} の最大値は R_B を入れないときにくらべ

$$V_{CE} \rightarrow \frac{V_{CC}}{\left(\frac{R_L}{R_B} + 1 \right)} \quad (A-2)$$

と小さくなり、トランジスタを保護できる。

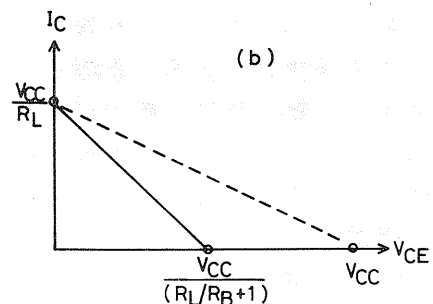
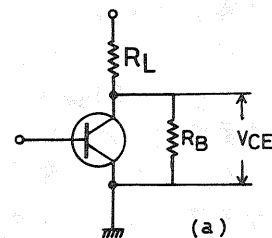


Fig A-1 R_B による負荷直線の様子