

# 小型・高出力・高性能・D D Sレーザ

= L D直接S H G可視波長青・緑・黄出力レーザ =

フォトンリサーチ(株) 成沢 潤

## 1. はじめに

フォトンリサーチは、世界最先端小型高性能な固体レーザ光源の開発と製品化の専門レーザメーカーである。ここでは、可視波長域の新型固体D D S (Diode Direct S H G)レーザ製品を紹介する。当社のD D Sレーザは、従来のD P S S (Diode Pumped Solid State)レーザと比べ、低ノイズ出力に100%のダイナミックレンジかつパルス幅10ns 以下の応答時間(50MHz 以上変調に相当)等の優れた特性を持っており、チップ型からファイバピグテールバタフライまで、LDと同様な各種高信頼性のレーザパッケージを国内外のお客様へOEMで高性能な製品として提供している。

## 2. 従来の固体レーザ(主にDPSS)の問題点

固体レーザに属する最も一般的なものは、ダイオードレーザ励起近赤外波長のYAGレーザ(以下DPSS)及びそれらレーザに非線形光学効果を用いる波長変換の紫外から可視波長のレーザである。

理科学と業務用途で計測と医療、顕微鏡によく使われる固体レーザは、DPSSレーザの二倍波SHGでの532nm グリーンレーザである。投射型レーザテレビ等コンシューマ用途であるRGBの光源に、赤(R)と青(B)波長のLDが使われる。現時点で市販の緑波長LD製品は無いため、SHGで緑波長出力のDPSSレーザでは、高輝度のレーザテレビに現時点で最有力な候補になっている。但し、DPSSでは、下記の幾つかの問題

点が色々な応用への展開に制限されている。

### (1) ノイズの問題

計測・分光・バイオ顕微鏡デバイスと医療器メーカーに求める固体レーザ製品は、出力の低ノイズ化が必須の条件である。10年前の532nm波長のDPSSはノイズの為“グリーンプロブレム”と呼ばれていた。近年、低ノイズDPSSグリーンレーザ製品を各メーカーは出しているが、現状、殆どのDPSSメーカーはレーザ自体に対しかなり工夫している。

図1にDPSSレーザのノイズ特性を示している。

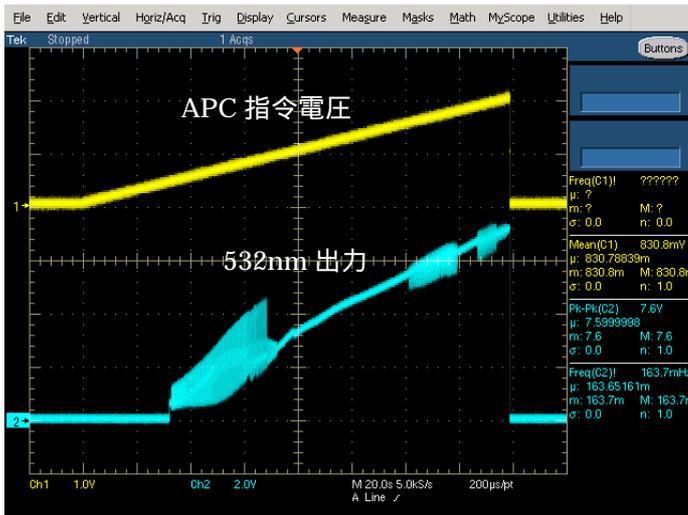
図1(a)と図1(b)ではノイズが全ての出力域に点在するケースである。その様なものは、ある特殊な出力のみに制御をかけて“低ノイズレーザ”になる。その他の例は、図1(b)は高出力端に、図1(c)は高出力と低出力の両端にそれぞれのノイズは顕在で、結局DPSSの低ノイズ出力は、一定的な出力範囲しかできない。図1(d)は、図1(a)の様なレーザを高出力端にカットして、ダイナミックレンジ100%に低ノイズ出力になるレーザの例である。この様な工夫で当社は、低ノイズ最大30mW、ダイナミックレンジ100%のDPSSグリーンレーザPDG-3030FLを製品として出しているが、歩留り悪く、少量生産に限定してOEMで出荷している。

### (2) 波長の制限

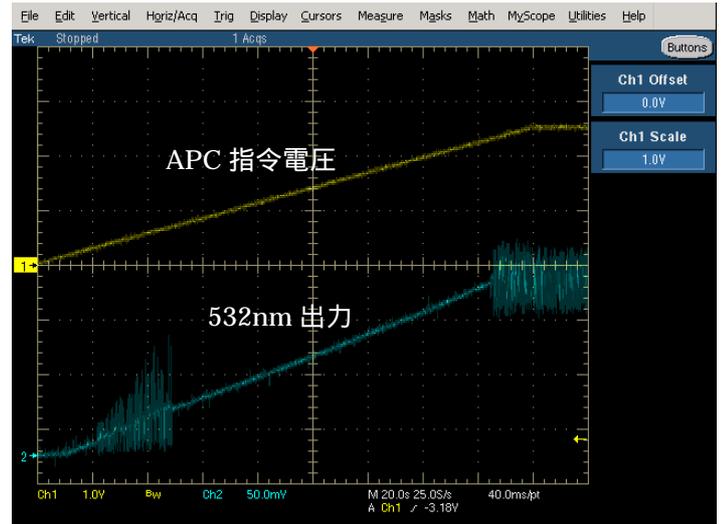
一般YAG(或いはYVO4)DPSSレーザのSHGで可視域の出力は532nmの波長のグリーンレーザである。その他波長にSHGで出力できるDPSSレーザはあるが、性能の問題と製造コストの制限で用途が限られている。

### (3) 変調速度の制限

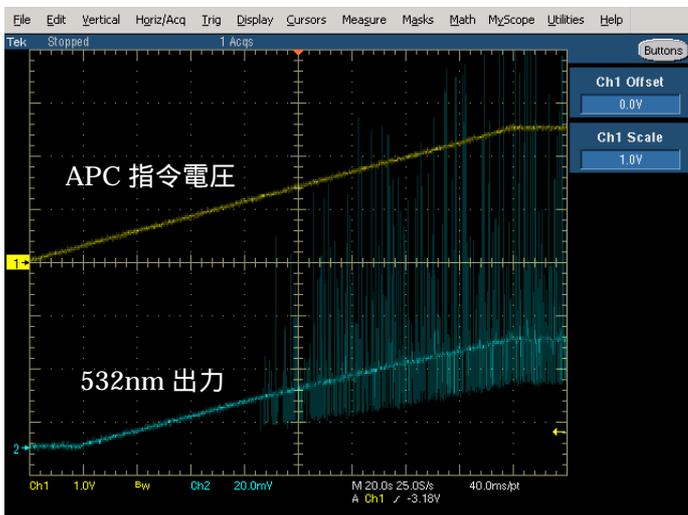
DPSSレーザのパルス出力は、一般QスイッチとパルスQスイッチである。尚、CWのDPSSに励起光LD



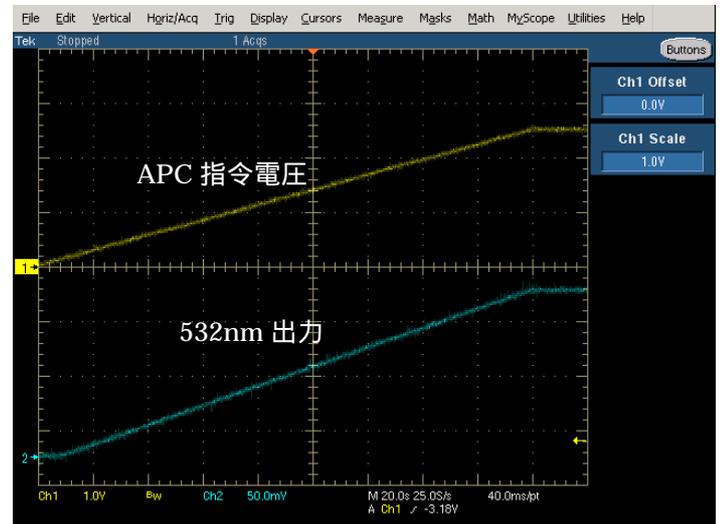
(a) ゼロから100mWまでDPSSの532nm出力特性：このレーザは全出力域にノイズが点在するので、ある特定な局所の出力域にしか低ノイズで出力できない



(c) 100mW出力532nm波長DPSSで、20mWの低出力端及び80mW高出力端に低ノイズは顕在する



(b) 最大100mW出力の532nm波長DPSSで、低出力端20mWの局域に低ノイズになっている



(d) (b)の100mW出力レーザに10mWのノイズが出る出力部分を捨てて、ゼロから10mWに低ノイズの532nmレーザである。この手法を用いてフォトンリサーチ社はゼロから30mWまでの低ノイズダイナミックレンジを有する532nmのDPSSレーザをOEM供給している

図 1

出力を変調するもので、繰返し率は最速でも100KHzまでに制限されている。

ところで、固体レーザに高速トリガーと高速パルス出力を要求される応用は多くある。例えば、投射型レーザテレビはスキャン方式が主流になりつつあるが、スキャンの方式にレーザ出力は、50MHz以上の変調でパルス出力が要求される。ハイビジョンの場合は150MHz以上の変調がさらに求められている。それら高速な応答性を求める応用に、DPSSレーザは不適用になる。

産業と業務用途に、ダイナミックレンジ100%の可制御性かつ数十MHz以上の高速変調性、又は532nm以外に488nmの青緑と570nm黄色の波長にも出力出来る固体レーザは、DPSS以外の新種の固体レーザ

の開発と製品化に課題になっている。

### 3. DDSレーザの特性

DDSでは、Diode Direct SHG、つまり、半導体レーザLDを直接SHG波長変換して出力するレーザである。内部共振器SHGにガウスノイズがあるDPSSレーザと違って、LDから直接SHG出力するので、DDSレーザでは、下記の様な優れた特性を持っている。

#### 可制御性

普通のLDは電流駆動で、励起電流と出力パワーは線形に比例している。

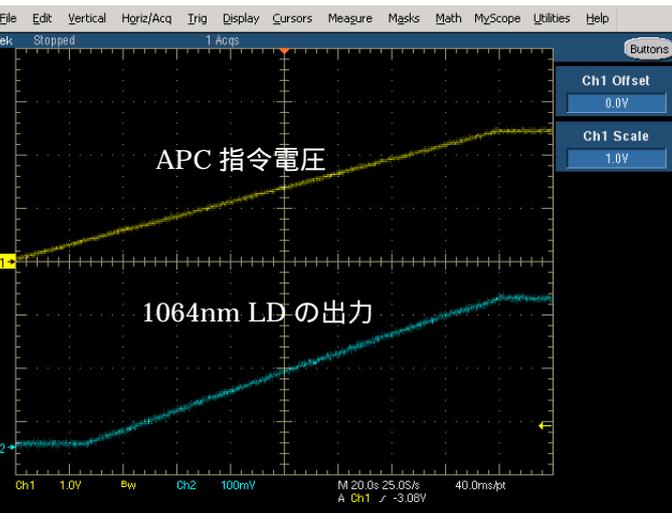
LDから直接SHGを出力するので共振器不要のSHG

<製品特集：産業界の明日を担うレーザ製品>

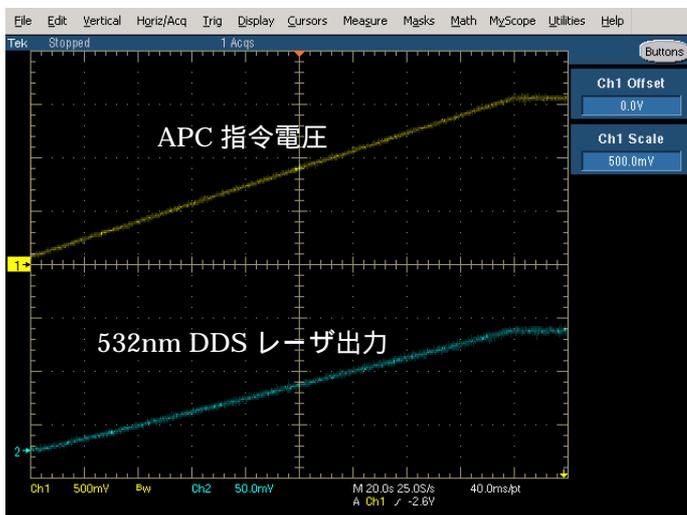
出力は、駆動電流と線形的に比例するLDの出力と、非線形の二乗関係で比例している。使っているSHG結晶の構造は導波路型であるので、SHGの低出力端に駆動電流と二乗に比例しているが、高出力端にSHGが飽和された効果で駆動電流と線形的に比例する。その様にSHG出力は、駆動電流とほぼ同時に上昇するモードであり、非常に制御性に易しいレーザになる。図2 (a)LDと(b)DDS二種類レーザで、APC (Auto Power Control) アナログ制御で出力指令電圧(上線)と制御されたレーザの出力(下線)のオシロスコープデータの類比である。LDと同様に励起光LDのAPC制御に対しDDSは、ゼロから最大の出力まで100%のダイナミックレンジを有し、一直線で出力を順序に上が

極めて低ノイズ出力

DPSSでのグリーンレーザの最大な特徴は、内部共振器でSHGの出力を最大化にすることである。SHGの波長変換効率(基本波1064nmに対し)は、ほぼ90%まで達成可能である。但しこの内部共振器の構造は、SHGの出力を向上すると同時に、ガウスノイズ



(a) 1064nmLDのAPC指令電圧と出力関係



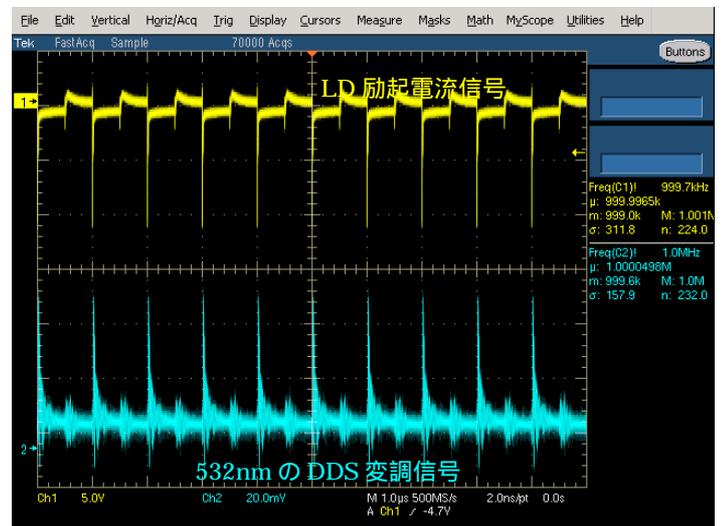
(b) APC出力指令電圧と532nmDDS出力関係

図2

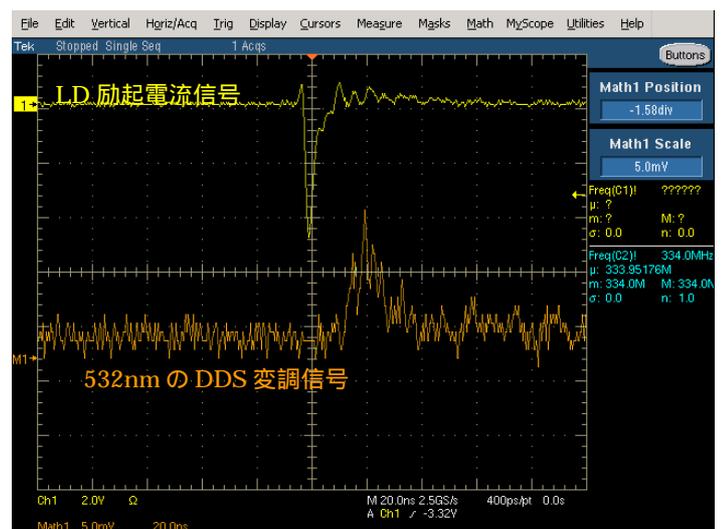
も顕在する。このノイズ特性は図1に現れている。LDからの直接SHG出力は、共振器構造を使われて無いので、図2(b)の様に、出力は極めて低ノイズ化になっている。

高速な時間応答性

DPSSレーザの基本波特性に左右されるSHGのグリーンレーザ出力であるが、レーザをパルス化される際に時間の応答性は、YAG或いはYVO4レーザ結晶の上のエネルギー準位の緩和寿命に左右されてしまい、最速で100kHzのパルス繰返し率しか発振出来ない。それと違い、光通信で既に実証されたLDの変調速度は、GHzオーダーであり、ハイビジョンレーザテレビに要求される150MHz程度の出力変調が、クリアできる。図3は当社DDSグリーンレーザ出力の時間応答特性を



(a) 1MHz 周波数のDDS変調532nm信号



(b) DDS変調信号のパルス幅(=10ns)

図3 上の段は、変調際にLDに流れる電流信号  
下の段は、高速PDで取られたDDSの出力信号

示す。図3の(b)のデータにグリーンレーザのパルス幅は約10nsになり、それは50MHzの変調に相当する高速な時間応答性である。

それぞれ可視波長のDDS

当社では、DDSの規格製品として、純粹青の460nmと473nm、緑青の488nmと490nm、緑の532nm、黄色の570nmの数種波長のレーザを最大100mW出力でラインナップしている。473nmと532nmの二波長を除けば、それらDDS製品は、DPSSに出来ない医療等の応用(例えば試薬の限定波長)に欠かせない波長を持つレーザである。

豊富なモジュール化製品

一般市販の小型LDは、5.6と9.0のカン、光通信用のバタフライの様な、それぞれのLDに馴染みがあるパッケージが存在する。DDSレーザは、LDから直接SHGの出力を得られているので、比較的コンパクトなパッケージになり易いのである。この様なLDに既存のパッケージに組立すると、DDSレーザ製品はコンパクトかつ高信頼性になる。それぞれパッケージの例として写真1と写真2を見て頂きたい。

#### 4. 当社DDS方式レーザ製品の紹介

当社のDDSレーザ製品では、カンとCOSにバタフライ型STM(シングル横モード)LDの出力を狭帯域化にし、それに導波路型の非線形光学素子PPLNを用いて、直接SHG出力にしたものである。尚、医療器と測定器等の高性能を要求されるデバイスに向け、当社DDSレーザ製品はSTMのSLDを使われている。

写真1(a)はファイバ型488nm/490nmの青波長レーザで、構成はFBG付バタフライ型980nmのLDに導波路型PPLNを用いてSHGにしている。パンダ型偏波保存ファイバの出力端にFC/PCで最大100mW@490nm、STM且つSLM(シングル縦モード)変調も40MHzまで対応可能な高性能のレーザである。電源もケース中に内蔵している。レーザの出力は、リースペースの普通ビームと、偏波保存パンダファイバ出力の2タイプがある。当社の製品型番はBIOB-9000で、国内のOEMユーザーへ既に数百台の納入実績がある。写真1(b)はパンダ型偏波保存ファイバで出力するDDSの緑波長のレーザである。この種のレーザは、PMFとSMFのシングルモードファイバで最大30mWまでに出力出来る。

写真2のDDSグリーンレーザは、いわゆる緑波長LDという当社最新製品であり、1064nm波長のLDを狭帯域化にし、導波路型PPLNを用いてSHG出力する

物で、チップ型とバタフライ型にそれぞれのパッケージを製品化している。最大出力は、バタフライ型で50mW、チップ型で100mWになる。ゼロから最大出力まで、ほぼ100%のダイナミックレンジに、532nm



(a) FBGで波長狭帯域化Butterfly LD励起488nmDDSレーザ、P/N=BIOB-9110



(b) パンダ型偏波保存ファイバ出力緑波長DDSレーザ、P/N=BIOG-9130PF

写真1 フォトンリサーチ社BIO-9000シリーズ490nm/532nm/570nmファイバ型DDSレーザ

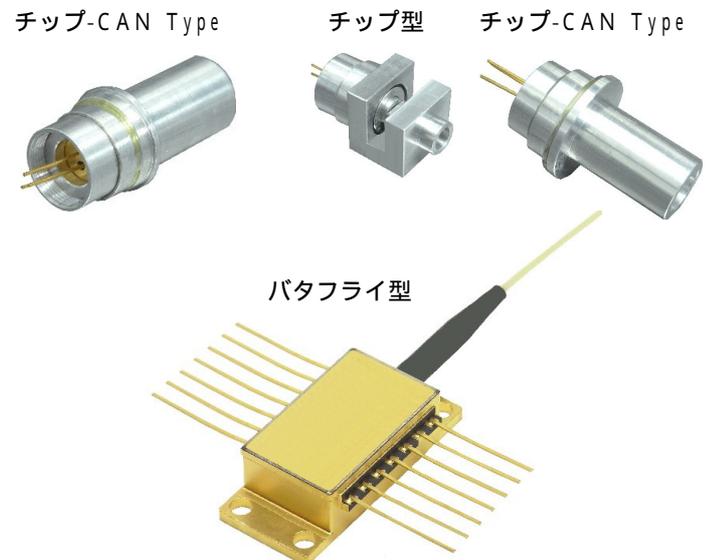


写真2 フォトンリサーチ社GB-9000シリーズDDSタイプ532nm緑波長LDの各種パッケージ

## <製品特集：産業界の明日を担うレーザ製品>

表1 DDS技術を用いるレーザ製品一覧

製品番号	波長	Max 出力	出力方式	備考
BIO-9000	473nm	30mW	PM-Fiber @FC/PC	電源一体化 ボックス型 或いは ヘッド分離型
	488nm	30mW		
	490nm	50mW		
	530nm	10mW		
	532nm	50mW		
GB-9000	460nm	100mW	Free-Space	チップ型 TO-CAN 型 Butterfly 型
	490nm	50mW	或いは PMF/SMF	
	532nm	100mW	or MMF	
	570nm	20mW	@FC/PC	
FM-9000	460nm	100mW	PMF/SMF or MMF @FC/PC	2U ボックス 諸オプション: RGB 合波器 ホモジナイザ コリメータ
	488nm	30mW		
	490nm	50mW		
	530nm	25mW		
	532nm	100mW		

出力のノイズは、RMSで0.1%以下、p-pで0.5%以下になり、LDと同じの100%のダイナミックレンジでの可制御特性を持っている。尚、図3(b)に示した10ns以下の変調パルス幅は、変調繰返し率の50MHzに相当する。

このタイプの緑波長LD製品について、当社はチップ型を中心にレーザの実装技術を開発し、試作レベルで、外装サイズ幅3.2mm×長さ7mm×高さ3mmの物が最大100mW出力に100MHzの変調対応のプロットタイプ品を既に試作している。投射型レーザテレビ等、お客様へ評価レーザを近い内に提供可能になる。

尚、写真2に掲載されているバタフライ型DDS製品について、このタイプのパッケージは元々光通信用コンパクトな物で、それによって組立された532nm波長のDDSレーザは、オペレーションの安定性が優れているし、外部環境の影響も受け難く非常に信頼性が高い製品である。偏波保存パンダ型ファイバを用いて最大30mW(それ以上の出力は要リクエスト)の出力に、30dBの消光比かつ40MHzの高速変調は可能になる。消費電力は最大2.5Wで非常に低い物である。

写真1と写真2に掲載された490nmと532nmの各種モジュールのDDSレーザは、製品の組立に光通信から流用されたYAG溶接技術を用いており、完全なエポキシフリーになり、耐環境性且つ長期信頼性は非常に高い製品になっている。

当社では、表1に示す数種類DDS技術を用いるレーザ製品がある。今後市場のニーズに応じて更に色々な小型高出力かつ高性能の青と緑波長のDDSレーザを製品化できる。

## 5. おわりに：応用

フォトンリサーチ社のDDSは、光通信の高度な組立技術を用いて作られた高信頼性の可視波長域に新しいタイプレーザ製品で、STMかつSLMに低ノイズ出力で、最大100mWかつ100%の出力可制御ダイナミックレンジを実現させた。高性能に要求された医療器と検査分光装置や生物顕微鏡等の応用で、DPSSの代わりに有用な光源である。50MHz以上に出力の高速変調に対応できるので、投射型レーザテレビ等コンシューマ市場の緑波長LD光源としても期待できる。今後は更にコンパクトかつ高出力化、低消費電力化に努力して、携帯電話に組込める投射型レーザテレビのRGB三原色にも使えるDDSレーザ光源を目指す。

本文に全てのオシロのデータの共通仕様に使われているLDドライバは、アナログ方式の変調でSHGレーザ出力に対してAPC(Auto-Power - Control)で制御している。実画像の黄色カーブはAPCアナログ出力制御の指令電圧で、青色カーブは高速応答のPDからのレーザの光電流信号である。