

高効率 SHG ユニットを用いたワット級 CW 可視域レーザー光源
 -ファイバ入力 SHG 空間結合ユニットで高品質ビームを出力-

(株)オプトクエスト 田中正三

1. はじめに

可視域レーザーは、DVD など情報機器の書込み/読出し用の光ピックアップを筆頭に、多種の半導体レーザーが広範囲な用途で量産され普及している。波長は可視域 380～780nm 帯にて、疎らではあるが少なくとも R・G・B 各帯域の単独波長は基本色として使われている。

また、色素レーザーがスペクトル分光など学術用途として古くから使われている。可視域全範囲を連続でカバーしており、波長可変で、半導体レーザーよりも高パワーなど、用途として申し分ないが、第 4 章で述べる様に使用上の問題が多々ある。

近年、ファイバレーザーが注目を浴びている。長距離光通信で普及している光ファイバ増幅の技術がベースであり、工業的には自動車産業などで高出力レーザー加工用に、学術的には「取り扱いに優れた光ファイバの長所」を生かした様々な光源を生み出す研究がなされている (図 1)。

当社は、空間光学系でシングルモード光ファイバ入出力による高効率ユニット化を得意としており、ファイバレーザーのメーカーで有名なカナダの MPBC 社とタイアップして、SHG ユニットを出力ヘッドとした高品質ビームのワ

ット級 CW 可視域レーザー光源を市場へ供給している (図 2)。そこで当製品、特に SHG ユニットについて易しく述べてみる。

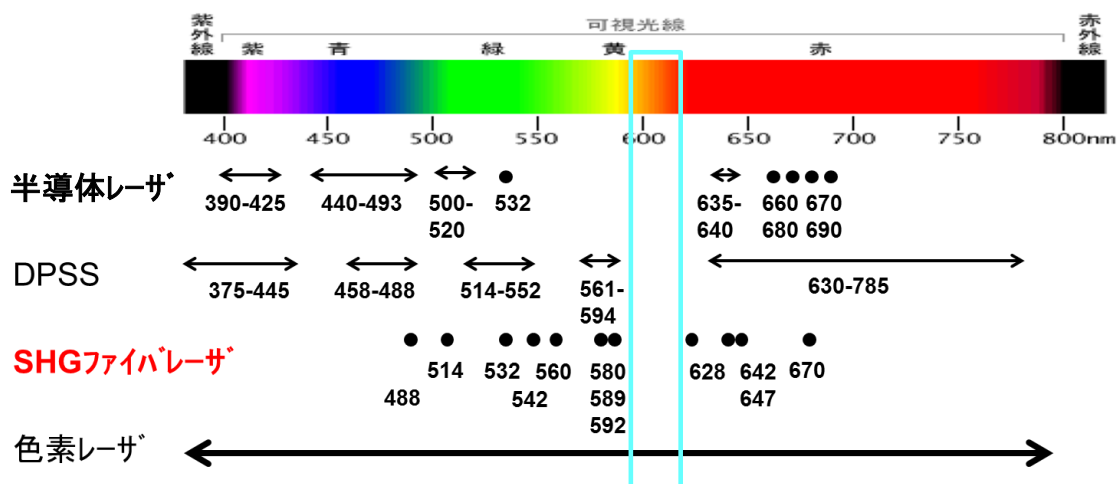
更には、稀なニーズで市販されていない、606nm-CW : 1.4W レーザを開発したので紹介する。

(CW ; Continuous Wave 連続光)

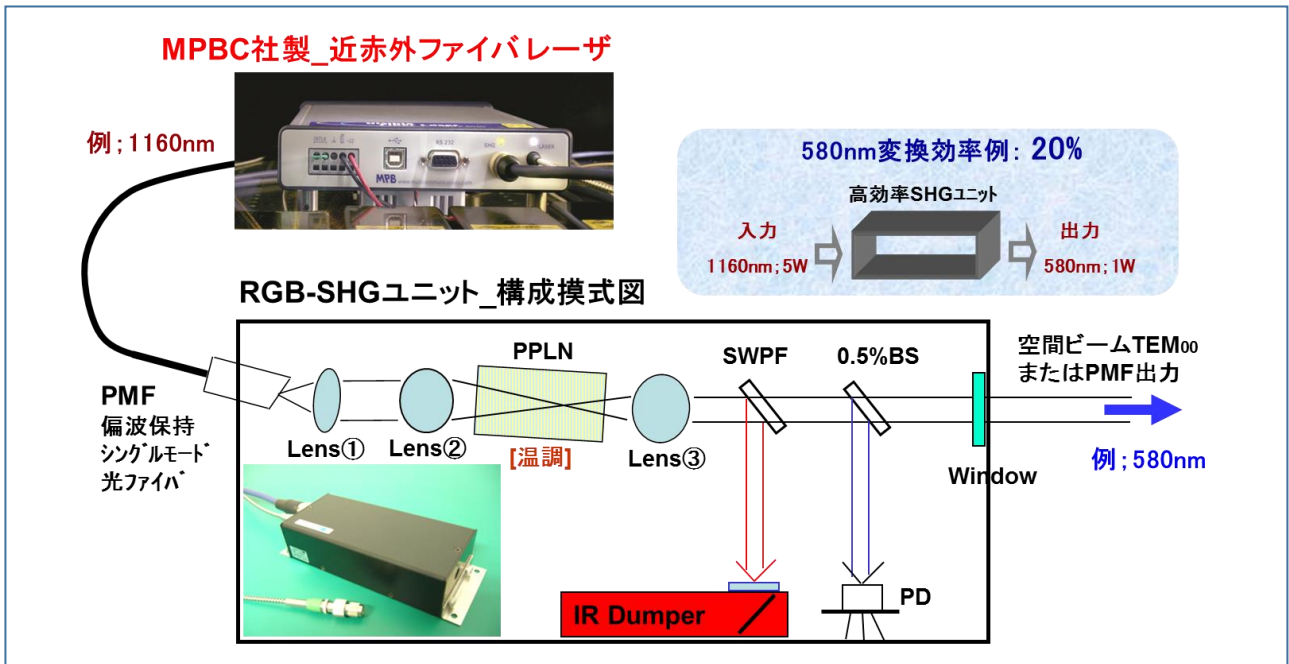
2. SHG ユニットで使われている技術

SHG ; Second Harmonic Generation の非線形光学素子が心臓部品である。

当社は、国内外で製造販売されている複数タイプの SHG 光学素子の中から、主に (導波路型ではなく) フリースペース型の PPLN ; Periodically Poled Lithium Niobate 結晶を入手した上で、『光ファイバ入⇒PPLN 透過 SHG 発生⇒シングルモード空間ビーム出力』の、安定したユニットを作製している。ここで言う「安定」とは、SHG 光学素子へのミスアライメントや温調不安定等の原因により出力ビームで発生しがちな、波長不安定性やパワー不安定性が極めて低く、安定である ($\leq \pm 0.1\text{nm}$ 、 $\leq \pm 1\%/8\text{H}$) という事である。



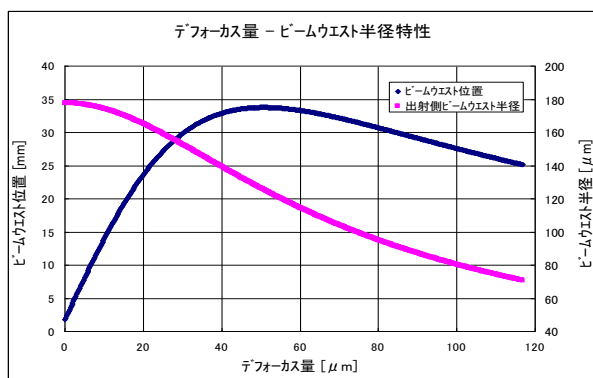
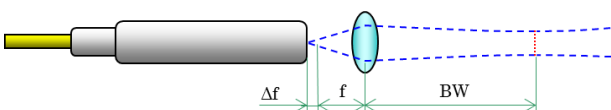
【図 1 可視域レーザーの種類】



【図2 SHG ユニットを出力ヘッドとしたファイバレーザ】

これを実現させている、4つの技術を以下に挙げる。

1) 空間光学系へのシングルモード光ファイバ入出力
 光が導波するコア径 $\leq \phi 10\mu\text{m}$ の石英ガラス製シングルモードファイバに、目的に応じた空間ビームを入出力結合（空間出力はシングルモードコリメート光；図3）させる事は容易ではない。十分に設計されて選定した非球面光学レンズを使い、サブミクロン分解能の光軸調整装置（X、Y、 θX 、 θY 、Zの5軸調整機構など）を用いて、効率良く低損失の光結合を行いたい。



【図3 光ファイバコリメータ】

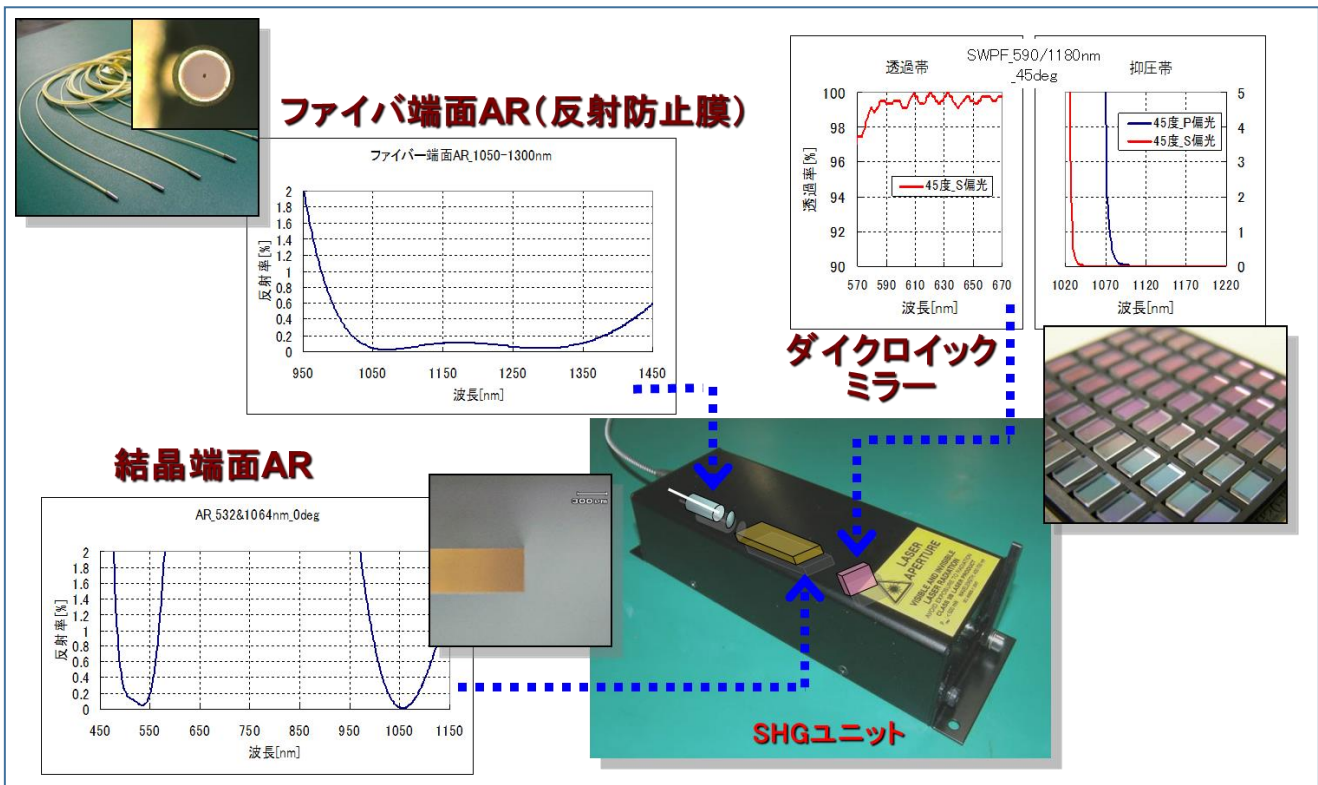
当社は、光結合損失の保証値 $\leq 1.0\text{dB}$ 、実力値 $\leq 0.3\text{dB}$ にてユニット作製を行っており、YAG 溶接固定によってその信頼性を確保している。

2) ビーム整形

前述の通り、当社では freespace 型の PPLN 結晶を SHG 光学素子として用いているが、freespace 型は SHG を発生させる光学的異方性の影響を受けてビームが変形するので、出力ビーム品質を高めて安定させるためにビーム整形が必要である。当社は十分に設計されて選定した組合せレンズを使い、低楕円率、 TEM_{00} 、 $M^2 < 1.1$ のビーム出力をキープしたユニット作製を行っている。また、PPLN 結晶の波長特性にも依存するが、SHG 変換効率は 20%程度で製品化している。

3) PPLN 結晶の温度調整

市販のペルチェとサーミスタを使うが、PPLN 結晶を指定温度で調整し、SHG 出力のパワーや波長を安定させる事がいかに難しいか。定盤上で SHG 光学系をバラックで組んで実験されている研究者の方々は、よくご存知であろう。当社は、PPLN 結晶の保持方法をはじめとして温度調



【図 4 レーザ用光学薄膜】

整について、長年の経験と独自のノウハウにより、安定したユニット作製を行っている。

夫を要する光ファイバ端面や微小光学部品の蒸着工程前後を高洗浄に保ち、耐パワー性の確保にも努めている。

4) レーザ用光学薄膜

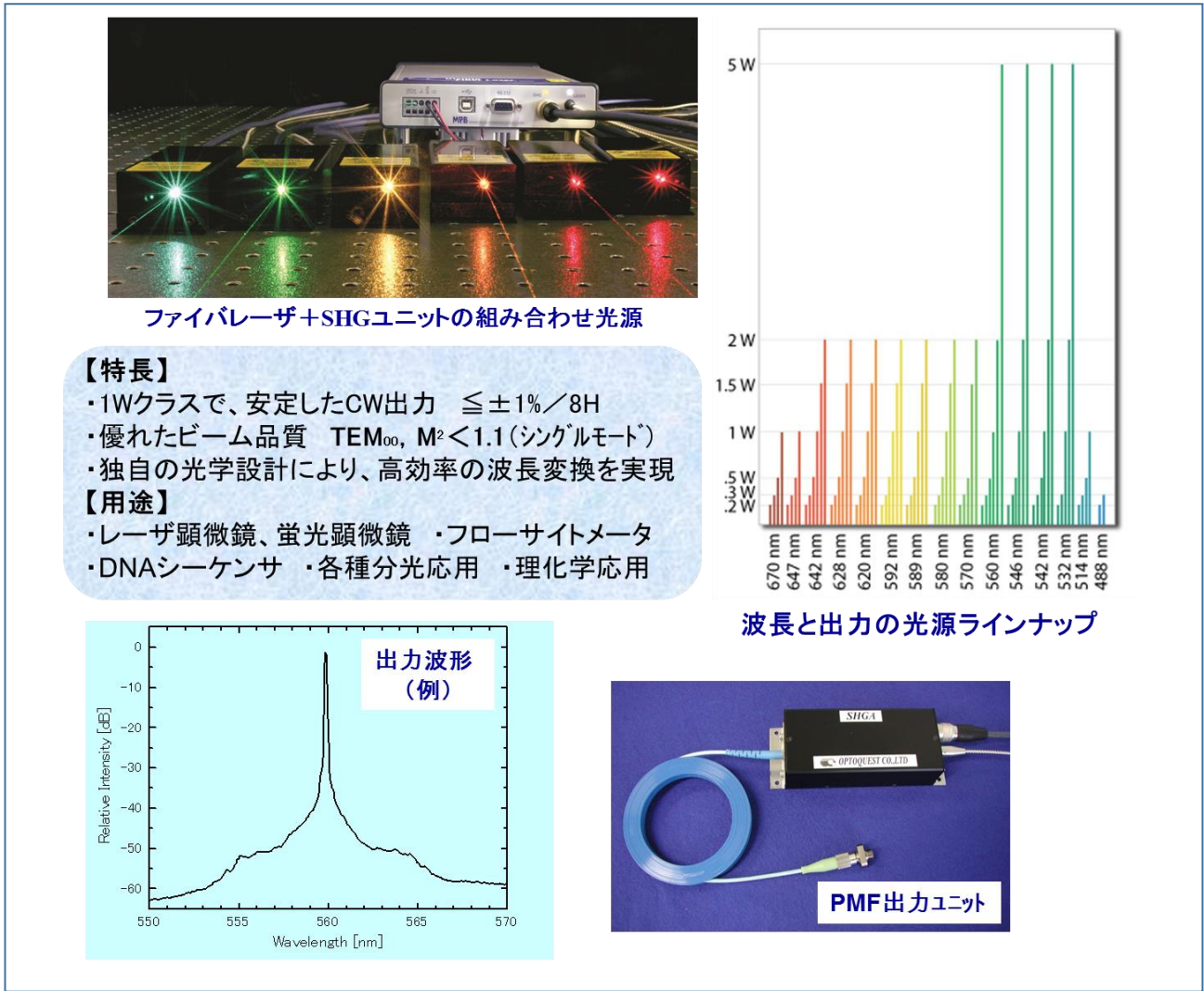
SHG 出力ビームの品質やパワーの安定に必要な更なる重要技術は、光学薄膜である。

光ファイバ端面 AR コート、PPLN 結晶端面 AR コート、基本光をカットし SHG 光のみを通すダイクロイックミラーコート、出力ビーム窓板 AR コートなど (図 4)。

これらは光学特性 (波長-透過率特性) も重要であるが、当社は得意の洗浄技術を用いて、ハンドリングに工

3. ワット級 CW 可視域レーザー光源

10W クラスのファイバレーザを基本波光源とし、第 2 章で述べた高効率・高品質・高信頼性の当社製 SHG ユニットと組み合わせて、MPBC 社製の可視域レーザー光源を国内で提供している (図 5 参照)。ファイバレーザ、SHG ユニット、いずれも出力は単独波長である。空間ビーム出力のほか、PMF ; Polarization Maintaining Fiber 出力でも作製できる。



【図 5 ワット級 CW 可視域レーザ光源】

4. 606nm_SHG レーザ光源

『Yb ドープファイバラマンレーザ+ファイバラマン増幅器+高効率 SHG ユニット』の構成で、ワット級 CW の 606nm レーザ光源を開発した。

1) 背景

波長 600nm 帯で高出力 1W 級のレーザ光源は、半導体レーザや個体レーザや SHG ファイバレーザでは今のところ市販されておらず、これまでは色素レーザしか使われていなかった (図 1 の【可視域レーザの種類】参照)。

しかし、

- ①色素は発がん性物質で RoHS 指令対象
- ②使用の度に複雑な光学系の調整が必要で安定化に何時間も掛かる
- ③毎年のメンテナンス費用が高価でありメーカーはメンテナンスを中止する方向

という問題により、色素レーザ以外の代替光源が求められている。

当社は、606nm ハイパワーレーザ光源の開発に成功した。そして、600nm 帯 (593nm~620nm で指定単独波長) の CW ハイパワーレーザ光源も実現できる。

2) 基本波光源 1212nm の発振

近赤外ファイバレーザで使われる希土類 (Yb) ドープファイバは、利得のピークが 1030nm、発振波長の上限は 1180nm 程度であり、基本波光源の波長としたい 1212nm の直接発振は困難である。そこで、当社は Yb ドープファイバレーザとラマン共振器を組み合わせ、発振波長の長波長化を図った。具体的には、市販の 1144nm-30W ファイバレーザから 1212nm の発振に成功した。

ところが、「ラマン共振器の出力を上げるとスペクトル線幅が広がり、SHG 変換効率が下がる。」という大きな課題が浮上した。そこで、当社はラマン増幅器を組み合わせてシミュレーションと条件出しを繰り返し、1212nm のスペクトル広がりを極力抑えて<0.2nm とする事ができた。SHG を含めて概略構成は図 6 の通り。



【図 6 概略構成】

出典：2013 年秋季応用物理学会予稿 20a-C8-2

3) 606nm レーザ光源の特長

色素レーザーに比べて、長寿命、高信頼性、ターンキー操作のみで安定出力、取り回しが出来て小型軽量のレーザーヘッド、安価、メンテナンスが極めて容易、という多くの特長が挙げられる。CW で最大出力 $\geq 1.4W$ が得られた。(光源特性は図 7 参照)。

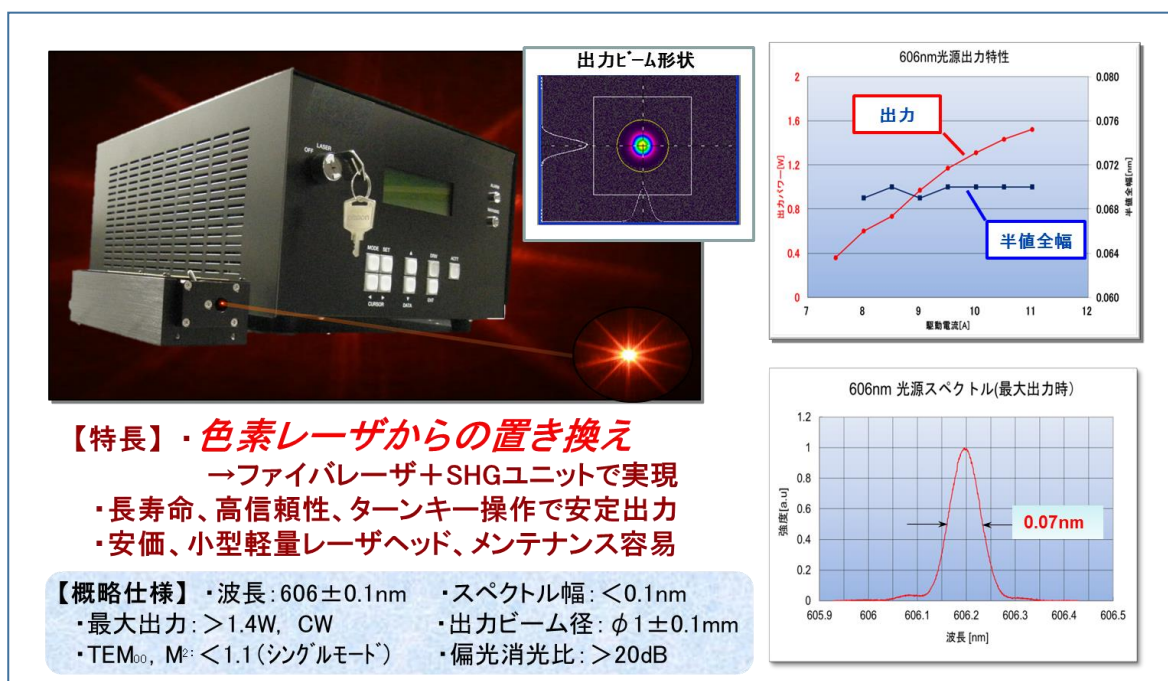
5. まとめ

当社の保有技術を挙げると、

- ①空間光学系の低損失ファイバモジュール化技術
- ②精密光学素子アセンブリ工程の治具作製技術
- ③洗浄技術と併せた光薄膜技術

等である。かつて日本が光通信市場バブルであった頃、光ファイバコリメータを使った Telcordia GR-1221 試験合格品のパッシブ光機能モジュールを量産していた。現在は公的研究機関や国家プロジェクト向けに、高速大容量光通信分野の最先端研究用の、低損失空間多重 (SDM ; Space Division Multiplexing) 光実験ツールを製品化している。

レーザー光源にファイバレーザーが台頭して産業用に普及した近年、光ファイバの光学的扱いと多機能化、高性能化の得意な当社は、通信波長帯ではなくても容易に技術の進化に仲間入りする事ができた。今後共、半導体製造分野や加工分野向けのファイバレーザーに関わるニーズを探索し、開発・製品化と拡販を図りたいと考えている。



【図 7 606nm レーザ光源】

以上