レーザー解説

CW Ti : サファイアレーザーの広帯域高効率波長変換

周 望龍*・佐々木 孝友*

(1995年8月9日 受理)

High-Efficiency Frequency Doubling of
CW and Tunable Ti : sapphire Lasers

Wang-Long ZHOU* and Takatomo SASAKI*

(Received August 9, 1995)

The Ti : sapphire laser has been rapidly developed and is the most succeeded one among the tunable solid-state lasers. It is tunable from 660 nm to 968 nm and this range can be further extended to blue and ultraviolet regions through wavelength conversion by using nonlinear optical crystals. This paper reviews high-efficiency external resonant and intracavity frequency doubling for cw Ti : sapphire lasers.

Key Words : CW Ti : sapphire laser, Nonlinear optics, Intracavity, External enhancement cavity, Frequency doubling

1. はじめに

Ti : サファイアレーザーは80年代前半に Moultonら¹⁻⁴⁾ によりはじめて開発されて以来、その発展は著しく、Ti : サファイアレーザーブームと言われるほどレーザー界から熱い注目を浴びている⁵⁾。Ti³⁺ ドープサファイア (Al₂O₃) のレーザー結晶としての最大の特徴は、幅広い振動蛍光準位 ²E-²T (半値半幅3170 cm⁻¹) を有していることである⁶⁾。それにより660 nm から968 nm まで非常に広帯域のレーザー発振が可能となっている。また、上準位への吸収 (Excited-State Absorption) が少ないため効率的なレーザー発振が期待できる。励起にはフラッシュランプ、Ar-ionレーザー及びNd : YAGレーザーの二倍波長が用いられる。半導

体レーザー励起方式のNd : YAGレーザーの場合、Ti : サファイアレーザーはコンパクト全固体化レーザーとなる^{7,8)}。

広帯域な波長チューニングが可能のため、Ti : サファイアレーザーは分光、材料分析、大気観測、超短パルス発生、非線形光学など多くの分野に用いられている。非線形光学結晶によるTi : サファイアレーザーの波長変換により波長のチューニング範囲をさらにブルー、紫外、深紫外まで広げることができる。このためその応用は情報処理、水中通信、精密加工、造形、医学、生物、原子トラップ、紫外分光などさらに広い分野に渉る。

Ti : サファイアレーザーの波長変換はパルス、CW共に多く研究されている。パルス発振 (Q-switched/mode-locked) の場合、光強度が強

*大阪大学工学部 (〒565 吹田市山田丘2-1)

*Faculty of Engineering, Osaka University (2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565)

Table I SHG properties for KN non-critically phase-matched at 860 nm and for others critically phase-matched at 800 nm.

Crystal	Phase-matching limit (nm)	d_{eff} (pm/V)	$\Delta\theta l$ (mradcm)	$\Delta\lambda l$ (nm cm)	ΔTl (°C cm)	Walk-off angle (deg)
KNbO ₃	838	18.3	—	0.05	0.27	0
LiB ₃ O ₅	556	1.05	2.02	0.8	15.3 ^a	0.94
β -BaB ₂ O ₄	409	1.65	0.54	0.5	37.1 ^b	3.9
LiIO ₃	600	2.75	—	0.45	—	5.0
CsLiB ₆ O ₁₀	476	0.56	1.39	0.86	—	2.0

^a Value for fundamental wavelength of 760 nm.^b Value for fundamental wavelength of 1064 nm.

いため one-pass-SHGでも高変換効率が実現できる。それに比べCW動作の場合は光強度が根本的に低いため通常共振器で基本波の強度を強めなければならない⁹⁾。

ここではCW Ti：サファイアレーザーの波長変換に関して非線形光学結晶，共振器技術，実験結果と出力安定性など筆者らの研究成果を中心に紹介する。

2. 波長変換用結晶

CW Ti：サファイアレーザーの波長変換用結晶にはKN (KNbO₃)，LI (LiIO₃)，LBO (LiB₃O₅)，BBO (β -BaB₂O₄)とCLBO (CsLiB₆O₁₀)がある。Table Iにこれらの結晶の Type-I 第二高調波発生 (SHG) 特性を示す。KNは有効非線形光学定数 d_{eff} が大きく，温度による非臨界位相整合ができる。しかし，温度許容幅が非常に小さいため，実用上は高精度 (<0.1°C) の温度コントローラが必要である¹⁰⁾。また，-50°C (非臨界位相整合波長839 nm) に相転移点があるため，419 nm より短波長光を発生することはできない¹¹⁾。LIは d_{eff} がBBO，LBOより大きい，walk-off角度が極めて大きい，変換効率と出力パターンがよくない。さらに，LIは比較的強い潮解性があり，また，レーザーダメージ閾値が低いなどの欠点がある。LBOは結晶品質がよくて光透過損失が小さい。また，小さいwalk-off角度と大きい角度許容幅 $\Delta\theta l$ を持つため，CW Ti：サファイアレーザーの波長

変換によく用いられ，高い変換効率が得られている¹²⁻¹⁴⁾。しかし，この結晶はa-軸とb-軸の熱膨張に対し強い異方性を示すため¹⁵⁾，表面のコーティングが難しい。つまり，その膜 (通常AR膜) は局所的な熱に対し弱い¹³⁾。BBOはLBOと比べてwalk-off角度が4倍位大きく，角度許容幅が4倍位小さい等の欠点がある。また，BBOを用いた場合温度による位相整合波長のチューニングはほとんど不可能である。CLBOは発表されてからまだ一年も経っていないが^{16,17)}，量産性に優れているためこの結晶に対する期待は高い。この結晶はLBO，BBOと同様にボレート系非線形光学結晶に属する¹⁸⁾。従って，ボレート系非線形光学結晶の共通特徴である深紫外まで透過，高レーザーダメージ閾値などの特徴をCLBOも有する。CLBOを用いたNd：YAGレーザーの4，5倍高調波発生ではBBOを用いた場合より高い変換効率が得られている¹⁹⁾。CLBOは位相整合波長が短くなるにつれて，BBOと反対にwalk-off角度は小さくなり，有効非線形光学定数は大きくなる。このため，CLBOは深紫外光発生に非常に興味深い結晶といえる。しかし，Ti：サファイアレーザーを基本波とする場合は波長はそれほど短くないためSHG特性はTable Iから見てCLBOよりLBOの方がよいといえる。

3. 波長チューニング

Ti：サファイアレーザーの波長チューニング

は複屈折率フィルター、プリズム或いはグレーティングによって行われる。第二高調波をチューニングするためには基本波の波長をチューニングすると同時に波長変換結晶の角度或いは温度も調整しなければならない。KNは通常非臨界位相整合方式で使われるため温度によるチューニングが行われる。BBO, CLBO, LIは比較的溫度に鈍感であり温度による波長チューニング範囲は狭い。温度でチューニングする場合、結晶が移動しないため変換効率は低下せず、また、二倍波の出力ビームの位置と形はほとんど変わらない長所を持つ。一方、角度でチューニングする場合、ビームの位置は変化するが波長チューニング範囲は比較的大きく、また、調整装置も簡単である。

Fig. 1にLBO (25°カット)²⁰⁾とKN (90°カット)¹¹⁾の温度-波長チューニング特性を示めす。LBOと比較してわかるようにKNは温度に対し敏感であり、波長チューニング範囲が大きい。言い換えれば、KNの温度制御はLBOより難しい。Fig. 2はLBO, BBO, CLBOとLIの位相整合角度と基本波波長の関係を示す。図からわかるようにBBOは角度に対し最も敏感であり、LBOは比較的緩やかである。従って、

Fig. 1 Temperature and wavelength tuning characteristics for crystals LBO and KN. The LBO cut at 25° is tunable for phase-matching wavelength from 886 nm to 840 nm by changing the temperature from 20°C to 213°C, while this range for the 90° cut KN is 838 nm ~ 950 nm within -36°C ~ 180°C.

Fig. 2 Type-I SHG phase-matched angle vs. fundamental wavelength for crystals LBO, BBO, CLBO and LI at room temperature. The angles for LBO are those of ϕ with $\theta = 90^\circ$, while the others are those of θ with $\phi = 45^\circ$ for CLBO and $\phi = 0^\circ$ for BBO and LI. θ and ϕ represent the angles between the propagation direction of fundamental beam and the Z and X dielectric axes of crystal, respectively.

LBOの角度許容幅はこれらの結晶のうち一番大きい。

4. 高効率波長変換

CW光を高効率波長変換するには、共振器技術が重要である。共振器方式には外部方式と内部方式がある。外部共振器方式の最大のメリットは出力の安定性である。また、基本波レーザー光の発振もSHGには影響されない。欠点としてはシステム全体が複雑になることである。基本波を外部共振器に効率よく共振させるため、インピーダンスマッチング (Input-Impedance Matching)²¹⁾及び基本波の波長と共振器の長さを調整するためのフィードバックシステムが必要である。一方、内部共振器方式はこれらが不要であり装置は非常に簡単である。欠点として出力は不安定であるが、ある条件下では安定な出力も得られる。

4.1 外部共振器型SHG

CW Ti:サファイアレーザーの外部共振器波長変換の実験配置図の一例をFig. 3に示す²²⁾。

Fig. 3 Schematic diagram for external resonant frequency doubling of a CW Ti : sapphire laser. AO : acousto-optic modulator, EO : eletrooptic modulator, PD : photodiode, RC : reference cavity, RF : rf amplifier, BM : balanced mixer, FR : Faraday rotator.

外部共振器方式では基本波は単一モードでなければならないため²³⁾, リング型の Ti : サファイアレーザーを用いたものが多い。また, 外部共振器もリング型が用いられ二倍波の出力は一方方向となる。インピーダンスマージングは以下のようにして行う。 t , γ と P_c をそれぞれ結晶の線形透過率, 結晶の one-pass-SHG 係数と共振器内部の基本波パワーと仮定すると, 入力ミラーの反射率 (r_1) の最適値 (r_m) は次式により与えられる²¹⁾ :

$$r_m = t(1 - \gamma P_c) r_2 r_3 r_4 \quad (1)$$

ただし, r_2, r_3, r_4 は外部共振器を構成するそれぞれのミラーの反射率である (入力ミラーは含まない)。式 (1) はミラーが4枚からなるリング共振器に対するものであるが, 二つミラーのみで構成された往復型共振器の場合, 式 (1) は次のようになる :

$$r_m = t^2 (1 - \gamma P_c)^2 r_2 \quad (2)$$

入力ミラーの基本波反射率 r_1 が r_m と等しい時, 入力ミラーの基本波に対する反射損失は零になる。これを Input-Impedance Matching と言う。実際に P_c は t , r 及び γ により変化し, $r_1 = r_m$ になるのは不可能であるから, 通常 r_1 を理論の r_m より少し小さめにする。この場合外部共振器内の基本波パワー P_c と入力パワー P_1 の比は次式

のようになる :

$$\frac{P_{c1}}{P_1} = \frac{1 - r_1}{(1 - \sqrt{r_1 r_m})^2} \quad (3)$$

式 (3) からわかるように P_c を P_1 より数10倍, 100倍以上高くすることが可能である。2倍波の出力パワー P_2 は次式で与えられる :

$$P_2 = \gamma P_c^2 \quad (4)$$

外部共振器 SHG を実現するため一番重要なのは基本波を外部共振器に安定に共振させることである。基本波波長と共振器長さを合わせるため, 基本波の漏れ光パワーをモニターしながら共振器長さをピエゾなどで調整する。このフィードバックループには通常周波数変調技術 (FM Sideband Technique)²⁴⁾ を用いる。また, 場合によって基本波波長もフィードバックシステムと参照共振器によって安定させなければならない。

Adams らは CW 単一縦モード Ti : サファイアレーザーと LI 外部共振器を用い, 出力最大 44 mW, 355 nm から 410 nm までの紫外光を得ている¹⁰⁾。また, 彼らは同じ方式により LBO 結晶を用い, 出力最大 60 mW, 360 nm から 400 nm までの紫外光を得ている²²⁾。また同じ LBO 外部共振器方式で Bourzeix らは 410 mW のブ

Fig. 4 Harmonic output instability before and after feed-back loop closed.

ルー光 (410nm) を得ている¹²⁾。変換効率は22 %である。外部共振器方式で最も高い変換効率 (48%) の報告はPolzikらによりなされている。彼らはKN結晶を用い、1.35 WのCW Ti : サファイアレーザーから0.65 Wのブルー光 (430nm) を得た²⁵⁾。同じ方式とKN結晶でTsuchidaは31 %の変換効率を実現した²⁶⁾。Fig. 4はTsuchidaの論文²⁶⁾によるものであり、外部共振器のフィードバックシステムが動作する前と動作した後の2倍波出力安定性を示す。フィードバックシステム動作時には安定な出力が得られている。

外部共振器方式は複雑であるが、高変換効率と低ノイズ高調波が得られ、また、フィードバック技術もよく知られているため、半導体レーザーのSHGにもよく使われている^{27,28)}。

4.2 内部共振器型SHG

外部共振器型と比べて内部共振器型は非常に簡単である。結晶をレーザー共振器内部に置くことで理論的に100%の高効率波長変換ができる²⁹⁾。にもかかわらず、CW Ti : サファイアレーザーの内部共振器型波長変換の報告は少ない。その原因は基本波のモード競合などによる2倍波の出力不安定及びSHG結晶のロス、熱などによるSHG変換効率の低下と思われる。我々はこれらの問題を解決し、高変換効率、かつ安定な出力を得ることに成功した。ここでは主に我々の研究について紹介する^{13,14)}。

Fig. 5 Schematic diagram of an intracavity frequency-doubled cw Ti : sapphire laser.

Fig. 5に用いた実験装置を示す。CW Ti : サファイアレーザーはAr-ionレーザーで励起され、800nmでの最大出力は約1.2Wである。M1は基本波の出力ミラーであるが、SHGを行う時反射率がほぼ100%のミラーに入れ替える。M2, M3, M4は曲率半径100mmの凹面ミラーである。基本波ビームはレーザー結晶とM5に集光される。SHG結晶はM5の近くにある。M4とM5が2倍波に対しても全反射であるため2倍波はM3から一方向に出力される。M3の2倍波に対する透過率は90 %である。

この共振器構成には2倍波の出力パワー或いは変換効率に対し3つのエンハンスメント効果がある¹³⁾。まず、M5の反射によって2倍波が一方向になることで2倍波の出力パワーは反射しない場合の一方向出力に比べ2~4倍高くなる。この値はM5から反射した基本波と2倍波がSHG結晶に着く時点での位相差、つまり、結晶とM5の間の空気分散の量によって決まる。実験で結晶とM5の空気間隔は約2 mmであり、対応するエンハンスメント係数は $\alpha=3.7$ である。また、レーザーがマルチモード発振するため、モード間の和周波によりエンハンスメント係数は計算によれば $\beta=1.65$ である。3つ目のエンハンスメント効果は共振器の収差によるものである。収差の原因でSHG結晶を通過する基本波ビームは楕円状となる ($W_x=72 \mu\text{m}$, $W_y=134 \mu\text{m}$)。楕円の長軸方向 (y, Fig. 5の紙面と垂直方向) が結晶のwalk-off角度方向と一致するため、walk-off効果は緩和されることにな

Fig. 6 Harmonic output power vs. laser capability of fundamental output power for crystals LBO, BBO and CLBO.

る。結晶 (8mmのLBO) のone-pass-SHG係数 γ は収差のない円状ビームの場合 ($W=120\mu\text{m}$) より楕円状ビームの場合の方が1.54倍大きいことが計算でわかる。以上3つの効果を入れると2倍波の出力パワーは次式で与えられる¹³⁾：

$$P_2 = \alpha \beta \gamma P_c^2 \quad (5)$$

実験で用いた結晶はLBO, BBOとCLBOである。800nmのType-I SHGに対するカットで長さは同じく8mmであった。LBOとBBOは両面共に基本波と2倍波に対し無反射膜を蒸着し、片面の反射率が $R<0.5\%$ であったが、CLBOは基本波に対しのみ簡単にテフロンが無反射膜を付けただけである。Fig. 6に3つの結晶の2倍波出力パワーを示す。最大出力パワーはそれぞれ650 mW, 400 mW, 280 mWであった。M3の2倍波透過率90%を考えるとレーザーの基本波出力容量に対する最大変換効率はそれぞれ63%, 38%, 27%であった。2倍波の出力パターンはLBO, CLBOとBBOの順に悪くなる。LBOの場合の出力パターンは円に近いが、CLBOとBBOの場合は楕円と帯状になっている³⁰⁾。これはこれらの結晶のwalk-off角度 (Table I) に対応するものと考えられる。

Fig. 7は結晶 (LBO) の温度を変化させた時の波長チューニング特性を示す。室温から150℃の範囲に対し基本波の位相整合波長は800nmから790nmまで変化した。つまり、2倍波の

Fig. 7 Measured temperature and wavelength tuning characteristics for LBO crystal.

チューニング範囲は400 nm~395 nmであった。温度の調整範囲を大きくし、また、異なるカットの結晶を使えばTi:サファイアレーザーの全波長帯域をカバーすることができる。

内部共振器方式は簡単、かつ高効率であるが、レーザーの発振がSHGによる非線形損失に影響されるため²⁹⁾、2倍波の出力ノイズが基本的に外部共振器方式より大きい。安定な出力を得るため結晶の温度などを一定に保つほか、基本波の発振を単一モード化する或いはモード数を大きくするのが重要である。出力の変動は主に基本波モード間の競合と2倍波モード間の干渉によるものと思われる³¹⁻³³⁾。単一モード化することでモード競合と干渉を同時に無くすることができる。一方、モード数を大きくすると“マイクロ的な”モード競合と干渉が平均化され、結果的に“マクロ的な”出力変動が小さくなる。モード数が少ない場合、この平均効果があまりないため、2倍波の出力変動が大きくなる。計算によれば、基本波のモード数が3または4とした場合、2倍波の出力変動はそれぞれ18%と25%になる³³⁾。モード数 (N) が大きい場合、この変動は $\sqrt{2/(3N)}$ になる^{32,34)}。

Fig. 8は我々の実験で得られた2倍波の出力変動を示す。20分内の安定性は5%であった。基本波のモード数は計算によれば400であった。実験でSHG結晶 (LBO) の端面を光軸と垂直になった時出力変動は数倍も大きくなる現象が観

Fig. 8 Intracavity harmonic output instability.

察された。これは結晶の両面がエタロンとして働いて発振モード数を大きく減らしたためと考えられる^{14,35)}。

実験結果からわかるようにLBOはBBO, CLBOよりはるかに効率が高い。しかし、すでに前述したようにLBOの無反射コート膜は高出力パワー動作時に膜にダメージが生じやすい。我々の実験では二倍波の出力が400 mW以上時安定な出力は数分間しか保てなく、すぐに150~200 mWまで落ちてしまう。LBOの表面には10 μm 程度の白い点が観察され、これは明らかにコート膜に生じたダメージである。従って、高出力動作のためLBOの反射膜の改善は不可欠である。

5. 結論

CW Ti : サファイアレーザーのSHGにおいて非線形光学結晶、波長チューニング特性、共振器方式及び出力の安定性について述べた。共振器でSHGを行う場合結晶の有効非線形定数より光損失の方が注意すべきである。使い易さと高変換効率から見るとLBOが最も適当な選択と思われる。実際我々の実験ではLBOを用いた内部共振器型波長変換により70%に及ぶ高変換効率を得ることができた¹³⁾。

Ti : サファイアレーザーのほか、半導体レーザーが直接励起可能な Cr^{3+} : LiSAF波長可変レーザーが最近活発に研究されており、その波

長変換も上述と同じの方式で対応できる。

参 考 文 献

- 1) P. F. Moulton : Opt. News 8 (1982) 9.
- 2) P. F. Moulton : Laser Focus 19 (1983) 83.
- 3) G. F. Albercht, J. M. Eggleston and J. J. Ewing : Opt. Commun. 52 (1985) 401.
- 4) P. F. Moulton : J. Opt. Soc. Am. B 3 (1986) 125.
- 5) 佐々木孝友 : 応用物理 64 (1995) 878.
- 6) P. Albers, E. Stark and G. Huber : J. Opt. Soc. Am. B 3 (1986) 134.
- 7) T. R. Steele, D. C. Gerstenberger, A. Drobshoff and R. W. Wallace : Opt. Lett. 16 (1991) 399.
- 8) J. Harrison, A. Finch, D. Rines, G. Rines and P. Moulton : Opt. Lett. 16 (1991) 581.
- 9) A. Ashkin, G. Boyd and J. Dziedzic : IEEE J. Quantum Electron. QE-2 (1966) 109.
- 10) C. S. Adams and A. I. Ferguson : Opt. Commun. 79 (1990) 219.
- 11) J. C. Baumert, P. Gunter and H. Melchior : Opt. Commun. 48 (1983) 215.
- 12) S. Bourzeix, M. D. Plimmer, F. Nez, L. Julien and F. Biraben : Opt. Commun. 99 (1993) 89.
- 13) W. -L. Zhou, Y. Mori, T. Sasaki, S. Nakai, K. Nakano, S. Niikura and B. Craig : Appl. Phys. Lett. 66 (1995) 2463.
- 14) W. -L. Zhou, Y. Mori, T. Sasaki, S. Nakai, K. Nakano and S. Niikura : Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) 3518.
- 15) W. Lin, G. Dai, Q. Huang, A. Zhen and J. Liang : J. Phys. D 23 (1990) 1073.
- 16) T. Sasaki, I. Kuroda, S. Nakajima, S. Watanabe, Y. Mori and S. Nakai : Proc. 10th Top. Meet. Advanced Solid-State Lasers, Memphis, Tennessee, 1995, Paper ME4.
- 17) Y. Mori, I. Kuroda, S. Nakajima, S. Watanabe, T. Sasaki and S. Nakai : Jpn. J. Appl. Phys. 34 (1995) L296.
- 18) C. T. Chen : Development of New Nonlinear Optical Crystals in the Borate Series (Harwood Academic, Switzerland, 1993)
- 19) 周望龍, 吉村政志, 安達宏昭, 森勇介, 佐々木孝友, 中井貞雄 : 電子情報通信学会信学技報 LQE95-24 (1995) 49.
- 20) D. Chen and J. Lin : IEEE J. Quantum Electron. 29 (1993) 307.
- 21) W. Kozlovsky, C. Nabors and R. Byer : IEEE J. Quantum Electron. 24 (1988) 913.
- 22) C. S. Adams and A. I. Ferguson : Opt. Commun. 90 (1992) 89.

- 23) また、効率的に共振するため入力光のスペクトル幅は共振器のスペクトル幅より小さくしなければならぬ。
- 24) R. Drever, J. Hall, F. Kowalski, J. Hough, G. Ford, A. Munleg and H. Ward : Appl. Phys. B 31 (1983) 97.
- 25) E. S. Polzik and H. J. Kimble : Opt. Lett. 16 (1991) 1400.
- 26) H. Tsuchida : Jpn. J. Appl. Phys. 33 (1994) 6190.
- 27) L. Goldberg and M. K. Chun : Appl. Phys. Lett. 55 (1989) 218.
- 28) W. J. Kozlovsky, W. Lenth, E. E. Latha, A. Moser and G. L. Bona : Appl. Phys. Lett. 56 (1990) 2291.
- 29) R. G. Smith : IEEE J. Quantum Electron. QE-6 (1970) 215.
- 30) 周望龍, 森勇介, 佐々木孝友, 中井貞雄, 中野貢一, 新倉信治 : 電子情報通信学会信学技報 LQE95-13 (1995) 73.
- 31) T. Baer : J. Opt. Soc. Am. B 3 (1986) 1175.
- 32) J. Ducuing and N. Bloembergen : Phys. Rev. 133 (1964) A1493.
- 33) F. Zernike and J. Midwinter : *Applied Non-linear Optics* (Wiley, New York, 1973) p. 108.
- 34) W. -L. Zhou, Y. Mori, T. Sasaki and S. Nakai : Jpn. J. Appl. Phys. accepted.
- 35) V. Magni, G. Cerullo, S. Silvestri, O. Svelto, L. J. Qian and M. Danailov : Opt. Lett. 18 (1993) 2111.

レーザーワード

チタンサファイアレーザー (Ti : sapphire laser)

チタンサファイアレーザーとは $\text{Ti}^{3+} : \text{Al}_2\text{O}_3$ をレーザー媒質とする波長チューナブル固体レーザーである。遷移金属イオン Ti^{3+} はホスト結晶 Al_2O_3 (サファイア) 中の Al^{3+} と置換される。吸収と蛍光に当たるエネルギー準位がそれぞれの平衡状態から大きく変化するため、このレーザーの吸収 (400~600 nm) と蛍光 (660~1000 nm) バンドは広い。また、母材サファイアは硬く、熱伝導性も優れている。波長可変、連続、高繰り返し、高出力、超短パルスレーザーとして実用化されている。

(周 望龍)

内部共振器型第2高調波発生 (intracavity second-harmonic generation)

内部共振器型第2高調波発生とは非線形光学結晶をレーザーの共振器内に置き、第2高調波を発生させる方法である。変換される第2高調波のパワーが基本波のパワーの2乗に比例するため共振器内部の高い基本波パワーを利用することによって高変換効率が容易に得られる。共振器内光損失を小さくすることが高変換効率を得るためのキーポイントである。

(周 望龍)