

波長変換による 紫外光発生

サイバーレーザー(株)
浅川雄一

1 はじめに

前回は波長変換によるレーザーに関して概説したが、今回はテーマを絞り、波長変換による紫外光発生に関して少し踏み込んで記述する。これまで述べてきたようにレーザー光はその単色性と指向性の良さから様々な産業用途に用いられているが、なかでも紫外光はこれまでレーザー光として主流であった赤外光では実現されえなかった産業用途で活用されている。今回は、その紫外光の特徴や用途に加え、波長変換による紫外光発生に関する原理から技術までを紹介する。

2 紫外光の特性

2.1 紫外光の特徴

自然界で得られる光の中でも、紫外光には3つの大きな特徴がある。

- 物質への吸収が高い
- 光子エネルギーが高い
- 回折限界（光を絞り込める限界）が小さい

第一の特徴は、日常の生活における日焼けを例にすると理解できるだろう。太陽から発生される光には赤外から紫外までの幅広い光の波長線分が含まれているが、最近ではそれらの光を人工的に作り出し、日常の生活で活用している。例として、体を温める赤外線ヒーターや肌を褐色にする紫外線を利用した日焼けマシンがあげら

れ、用途によって用いる最適波長域が異なる。図1(a)に示すとおり、赤外線は皮膚と通過し、人体を構成する水に対して吸収され体を温めるが、紫外線は表面の皮膚の色素に吸収されて肌を日焼けさせる。この日焼けの例からわかるとおり、一般的に紫外光は赤外光と比べて物質に対しての吸収が強い。

また第二の特徴として、紫外光は光を形成する光子一つあたりのエネルギーが高いことがあげられる。光子のエネルギー E は、 c を光の速度、 h をプランク定数とすると、以下の式で与えられる。

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

波長 λ が短くなればなるほど光子のエネルギー E は高くなる。この光子のエネルギーが高くなると、結合状態が強い物質に対しても光を作用させることが可能になり、紫外光でなければ実現されえない反応や状態を作り出すことが可能になる。

最後に、紫外光は光を絞り込める限界とされる回折限界が小さい特徴を有する。一般的にレンズを使用した際のレーザー光の集光径は、 f をレンズの焦点距離、 D はレンズへの入射ビーム径、 M はビーム品質を表す値とすると、以下の式で与えられる。

$$\phi = \frac{4\lambda f M}{\pi D}$$

波長 λ が短くなればなるほど集光径 ϕ を絞り込むことができることがわかる。(上式はガウス分布した強度分

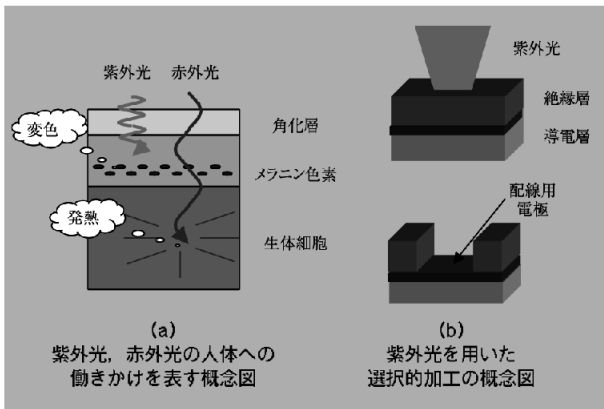


図1

布を持つレーザー光に対して用いる近似式) 光を小さい集光径に絞り込むことにより、小さなものを見たり、加工したり、また、その部分に光のパワーを集中させることが可能になる。

2.2 紫外光の用途

これまで、レーザー光は光通信等の情報技術分野、計測やセンサ技術、レーザー加工等の分野で活用されてきたが、それらの多くはCO₂レーザーやYAGレーザー、半導体レーザーなどの赤外波長を発生する光源であった。近年では、より精密で高度な計測や加工が求められており、それらに対しては、前述の3つの特徴を活かして紫外光が広く用いられている。

特に紫外光のレーザー加工は加工痕が比較的良好、かつ難加工材料への加工も可能なこともあり、注目を集めている。レーザー加工は、レーザー光の高いパワー密度により材料表面から中性原子、分子、イオン、電子、光などが一瞬の爆発から放出されるアブレーションという現象を利用した物質への穴あけや切断をさす。赤外光によるレーザー加工は光が物質表層に吸収され、発熱することで物質を溶かし加工することに比べ、紫外光は光子エネルギーが大きく、物質への吸収が比較的強いことから、物質の原子間結合を切断することで加工を行う。それゆえ、照射周辺部分への光照射の影響が少なく、加工痕が良好である。レーザー加工のほか、光子エネルギーの大きさを利用した一例として、昨年、田中耕一氏がノーベル賞を受賞されたマトリックス支援レーザー脱離イ

オン化質量分析法 (MALDI-MS: Matrix Assisted Laser Desorption ionization-mass spectroscopy) もあげられる。分析対象であるたんぱく質と光を吸収するマトリックス剤を混ぜた物質に紫外光を照射させると、その混ぜられた物質は高い光子エネルギーによって損傷を受けることなくイオン化され、飛行時間型質量分析計により分析される。まさに紫外光の光子エネルギーの高さを利用した典型例と言える。

また近年、携帯電話に代表されるように電子機器の小型化が進んでおり、半導体基板の集積密度を高めるために基板の小型化、多層化が進められている。これを実現する特殊な加工に対しても、紫外光によるレーザー加工が有効である。第一に、小型化に対しては波長が短い紫外光を用いることで、集光径を小さくすることが可能となり、基板に数10 μm径の極微細な穴をあけることが可能になっている。また、多層化に対しては絶縁層と導電層の光の吸収特性の違いから絶縁層のみに配線用の穴をあける選択的な加工が実現されている。図1 (b) に示すように、肌の日焼け同様に紫外光が表層の絶縁層のみ作用し、すぐ下の導電層には比較的作用しにくいことから選択的な加工が実現され、紫外光の特徴が大いに活かされている。

加えて、加工の分野以外である光ディスクの分野や計測の分野でも紫外光は多用されている。光ディスクの記録には、ディスクに対して、より高密度に情報を記録することで大容量化が図られるが、これに対して紫外光を用い、情報を入力する光のスポット径を小さくすることで大容量化が実現されている。また、レーザー顕微鏡や半導体リソグラフィ用マスクの欠陥構造検査に対しても、より微細な計測・検査を実現するものとして紫外光が用いられている。計測の方法にもよるが、一般的に波長を短くすることにより、測定の分解能を上げることが可能になり、これまでは検出不可能であった微細なパターンや欠陥構造の観察、検査に役立てられている。

2.3 産業用途に用いる紫外光源

波長変換技術が発達する以前における紫外光源の代表例はKrFエキシマレーザー (波長248 nm)、ArFエキシマレーザー (波長193 nm) やHe-Cdレーザー (波長352

nm) などのガスレーザーが主であった。しかしながら、ガスレーザーは比較的装置が大型である点、電気-光変換効率が低くランニングコストがかかる点、ガス交換の頻度が多い点、毒性を有するガスを使用する点などから実用においては敬遠されがちであった。

これに対して、Nd:YAGレーザーなどの信頼性が高く、高効率で比較的コンパクトな赤外波長の基本波光源が完成の域に達し、それと同時に紫外光を発生させる波長変換素子や技術が向上することで、ガスレーザーではなされなかった紫外光の応用研究が広がっている。代表例としてはNd:YAGやNd:YVO₄レーザーの第3高調波(波長355 nm)、第4高調波(波長266 nm)が挙げられる。また、ランニングコストや信頼性などの特徴に加え、半導体レーザー励起の全固体構成の紫外光源では、ガスレーザーでは実現されえない高い繰返し周波数(1秒間に数10,000パルスの光出力)を有する光を発生させ、加工時間を短くし、生産効率をあげるなど、本格的に産業用途に使用されている。加工の分野をはなれると、最近では波長変換を経ずに直接紫外光を発生させるGa₂N半導体レーザーも開発され、計測や光ディスクなどの装置の小型化が要求される分野において用いられ始めている。

最後に補足として、現在、固体レーザーの開発と並行して、エキシマレーザーの完成度は格段に高くなっており、高出力を要するLSI用露光等の分野では広く用いられていることを付け加える。

3 波長変換による紫外光発生

3.1 はじめに

簡単に波長変換による紫外光の発生を書けば、波長変換素子に光を通すことにより実現される。しかし、波長変換素子の選定、安定出力を得るための最適化、効率よく出力を得るための方法など、実用に耐えうる光源にするためにはいくつかの鍵となる技術がある。これからは、波長変換の原理に加え、それら技術のいくつかを紹介をする。

3.2 波長変換の原理

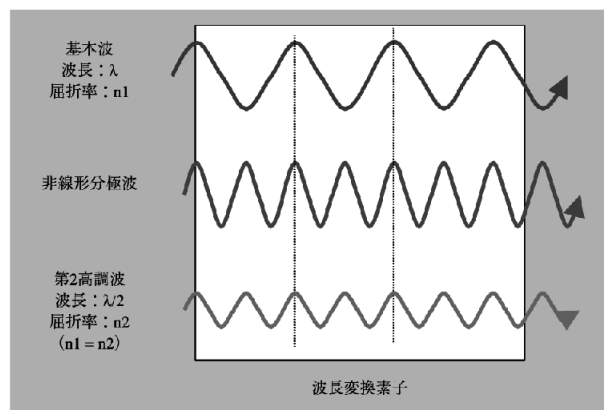


図2 位相整合条件における基本波、非線形分極波、第2高調波の関係

発生させる波長に対して最適化された波長変換素子に基本波となる光を入射させると、第2高調波発生という現象から波長が半分になった光が得られる。また、同様に最適化された波長変換素子に2つの波長を入射させると、和周波発生という現象から、それら波長の逆数の和の逆数を取った波長が得られる。いずれの方法も波長を短くする技術であり、これら過程を経て紫外光は発生される。では、実際に波長変換素子では何が起きているかを、第2高調波発生を例にして考える。

物質に電磁波が入射した時、物質内では電磁波の持つ電界により分極が生じる。この分極は、入射する電磁波の強度と物質の非線形光学定数により決められる。レーザーのように強烈な電磁波を非線形光学結晶といわれる非線形光学定数の高い結晶に入射させると、図2に示すように2次の非線形効果から波長が半分の非線形分極波が生じる。その分極波が結晶中で伝搬することにより、双極子輻射という現象から波長が半分の第2高調波が発生する。結晶中では屈折率により決められる位相速度に応じて分極波と第2高調波が伝搬するが、この波長の違いから生じる屈折率の違いから、分極波と第2高調波は位相ずれを起こしてしまう。位相ずれが生じると、分極波に応じて得られる第2高調波が結晶中の各点で強めあいと弱めあいを繰り返す、効率的に第2高調波が得られなくなる。もっとも理想的な状態は、分極波と第2高調波が位相ずれを起こさない状態であり、このような条件下においてはどの点においても得られる第2高調波はコヒーレントに加算され、効率よくて第2高調波が得られ

る。

つまり、基本波に誘起される分極波と高調波の位相ずれをなくす（＝両者の整合を取る）ことで、高調波の効率的な発生が可能になる。これは位相整合とよばれ、非線型光学結晶の特性を利用することで実現される。一般に、非線型光学結晶は複屈折性を有し、結晶への入射方向や光の偏光状態（常光，異常光）が異なるとそれぞれの光に対して屈折率が異なる。この複屈折性を利用して、分極波，ひいては基本波と第2高調波の位相ずれをなくすることができる。この複屈折性を有する結晶の屈折率の波長依存性は、セルマイヤーの式 [1] から解くことができる。

上記のとおり、基本波と高調波の結晶内での屈折率を等しくすればよい、という考えにもとづくと、基本波の偏光状態は常光と常光，と常光と異常光から第2高調波をえる方法の2種類の組み合わせが考えられる。前者の場合はタイプI位相整合，後者の場合はタイプII位相整合と呼ばれる。この位相整合のとり方に関してもどちらに優劣があるわけではなく，角度許容量や温度許容量が比較的大きい方が選ばれる場合もあるが，有効非線形光学定数が高い方，発生光の偏光状態から決められる場合もあり，それらは用途により決められる。

また補足となるが，近年では基本波と高調波の位相ずれを特殊な結晶で強制的に補償する方法も生まれている。これは，数 μm 毎に結晶のc軸を反転させて位相ずれを生じさせないことにより実現され，擬似位相整合と呼ばれる。本方法は，結晶中のわずかに数 μm 毎に分極構造を作製する必要があり技術的に困難であったが，最近では均一な周期分極構造を比較的長い作用長で作製することが可能になり，高い波長変換効率を実現している。

3.3 非線形光学結晶の選択

大前提として，より効率よく波長変換を行うために選ばれるべき波長変換素子は高い非線形光学定数を有する物質となる。また，発生させる光に対して透過性があり，位相整合がとれる複屈折性を有していることが大きな選択ポイントになる。加えて，実用まで考えると，温度や湿度などの環境変化に対する動作可能な許容量，安定なパフォーマンスの継続，価格が比較項目としてあげられ

る。

紫外光発生に用いる非線型光学結晶は淘汰が進み，これら比較項目から LiB_3O_5 (LBO)， $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ (BBO)， $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$ (CLBO) の3種類が代表的な結晶として挙げられる。擬似位相整合による紫外光発生も期待されるが，分極構造を施すことが容易な媒質は強誘電体結晶の LiNbO_3 や LiTaO_3 であるが，紫外光発生に対してはこれら材質が紫外光を吸収してしまい，現在のところ適用はできない。

LBO結晶は波長170 nmまで透過特性を持ち，発生波長は一般的に紫外領域といわれる300 nm程度までは比較的高い変換効率を有する。また，機械的に安定であり，KTP結晶に見られるような長期使用における経時的な変化も見られない。

BBO結晶は波長190 nmまでしか透過特性を持たないが，発生波長は深紫外領域とされる300 nm以下ではLBO結晶よりも高い変換効率を有する。LBO結晶よりは水分に対して脆弱ではあるが，それらに対して加熱や除湿等の対策をとって取り扱えば，より短波長の紫外光発生に適している。

CLBO結晶は，BBOと比べて非線形光学定数がやや小さいが位相整合の許容幅が大きく，同等の変換効率を得られ，一部報告ではBBO結晶以上の出力も確認されている。取り扱いには十分な対策が必要だが，高出力深紫外光発生に適した結晶と言えるだろう。

3.4 波長変換の方式

最適な結晶を選択した後，基本波を結晶に入射させれば波長変換が実現されるが，基本波の発振形態や波長変換による発生波長により，最適な波長変換の方式が変わってくる。発振形態がパルス光の場合，ピークパワーが高いことから瞬間的な電場強度が高くなり，非線型光学結晶に集光することで比較的簡単に波長変換される。一方，連続発振光の場合は断続的に光が供給されるため，ピークパワーは低い。そのため，パルス光の様に容易に波長変換することは難しく，実用可能な出力を得るためには光共振器内で基本波強度を増大させる必要がある。

前述のように，レーザー共振器から出力される基本波を共振器の外部で波長変換する方式を外部変換と呼び，

非線形光学結晶に集光系を利用して高調波を発生させる方法である。高効率に発生させるためには、結晶に対して高い光電場を誘起する必要があるため、スポット径を小さくして絞り込む必要があり、結晶自体に損傷や結晶端面の無反射コーティングに損傷を与える危険性がある。また、スポット径を小さくすればするほど変換効率が上がるわけではなく、発生させる波長や用いる結晶により最適な集光径が存在する。この値はボイド・クレイマンの式 [2] から計算され、高効率波長変換を実現する上での鍵となる。現在、結晶やコーティングの損傷閾値は高くなっているものの、これら制限のため、後述する内部変換ほど変換効率を上げることは困難である。

内部変換は、レーザー媒質を含む共振器内に非線形光学結晶も組み込んで波長変換をする方法である。レーザー共振器内部は高い基本波強度が蓄えられており、基本波に対しては高反射で、得られる高調波に対しては無反射の特殊な特性を持つミラーで共振器を構成すると、高調波のみ選択的に取り出すことができる。内部変換では、外部変換よりも基本波の強度が高いため、スポット径を小さくする必要がなく損傷の危険性は少なく、かつ最適化することにより外部変換以上の変換効率を得ることができる。

紫外光は波長 450 nm 以下の領域であり、その発生に対しては波長 1,000 nm 帯の基本波光源を使用すると少なくとも 2 段階の波長変換が必要になる。波長 1,064 nm の基本波を例にとると、波長 355 nm の第 3 高調波発生には、第一に波長 532 nm の第 2 高調波の発生、第二に波長 1,064 nm の基本波と波長 532 nm の第 2 高調波の和周波発生が必要となる。また、波長 266 nm の第 4 高調波発生には、第一に波長 1,064 nm の第 2 高調波発生、第二に得られた波長 532 nm の光に対し第 2 高調波を発生させる必要が生じる。

内部変換、外部変換の両方で紫外光発生は実証されているが、前述のように内部変換が万能ではなく、状況によっては外部変換の方が変換効率の良い場合、紫外光発生が容易である場合もあり、その優劣を一概に決めることはできない。現在市販されているレーザー光源を見ると、波長 355 nm のパルス光源では外部変換と内部変換のどちらも採用されているが、後者の変換方式

による光源は安定性と長寿命の点で評価が高い。また、波長 266 nm のパルス光源に関しては、ほぼ外部変換が採用されている状況である。一方、連続発振光源の紫外光発生は、基本波光源を波長 1,000 nm 帯の光源とした場合、外部変換しか方法がなく、市販されている波長 266 nm の連続発振光源は波長変換素子を含む外部共振器を構成し、波長変換を行っている。この波長変換はパルス光源の場合と異なり、様々な技術を要する。そのため、以下の章において連続発振光源の波長変換に関して詳しく解説する。

4 連続発振光の波長変換

4.1 はじめに

連続発振光はピークパワーが低く、高効率に波長変換を実現するためには 2 通りの方法が考えられる。一つが内部変換であり、もう一つが光のリサイクリングを利用した外部変換である。内部変換では、連続発振光であっても前述のとおり、基本波に対するレーザー共振器内の電場強度が高く、パルス光源よりは劣るものの比較的良好に波長変換が実現されている。もう一方の方法は、外部変換ではあるが基本波を外部共振器内で数 10 回リサイクリングさせることで基本波強度を外部共振器内で増大させて高効率に波長変換を実現する方法である。特に紫外光発生に関して、内部変換で波長 450 nm 以下の紫外光を発生させるためには基本波レーザー媒質に波長 700 nm から 1,000 nm の発振が可能な Ti:sapphire 結晶を使



図3 高出力 深紫外連続発振光源の写真 (Cyber Laser 社 Altair)

用するほかなく、製品化されている連続発振の紫外光源はほぼ外部共振器によるものである。

上記のような光源が産業応用に至るまでには高度な技術を要するが、最近では図3のような1Wを出力する高出力かつ安定な連続発振紫外光源も開発されており、その完成度は高まるばかりである。製品化に向けては、前述した紫外光発生技術に加え、外部共振器による波長変換技術、産業用途に耐える安定化技術が鍵となる。以降、外部共振器による波長変換技術に関して紹介する。

4.2 外部共振器の構造

初期に提案された外部共振器は図4(a)に示す定在波型の線形共振器であったが、出力安定性と変換効率が良好でない点から、現在では入射された光が一方方向に伝搬する進行波型のリング型共振器が主流となっている。これらリング型共振器の形状を図4(b)～(e)にまとめる。

リング型共振器は文字通り、円環状に光がリサイクリングされる共振器であり、最も分かり易い形が四角型共振器である。このミラーを4枚使用した概念をベースに、コンパクトかつ機械的に安定、かつ共振器内に伝搬するビームの縦横の集光点の位置を補正(=収差補正)した

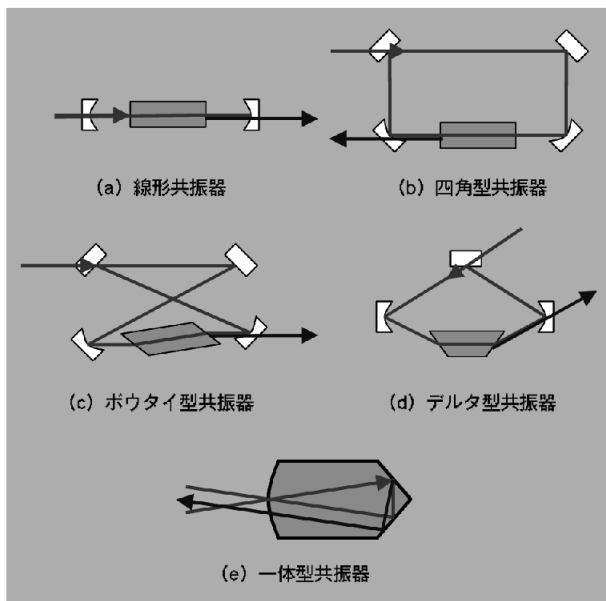


図4 様々な外部共振器

ものがボウタイ型共振器であり、現在最も多用されている進行波型の共振器である。ボウタイとは、英語で蝶ネクタイの事を指し、その形状から名前がついた。

また、使用するミラーの枚数を3枚にしたデルタ型共振器も存在する。この共振器は設計によっては、小型かつ安定、収差補正も可能、さらに使用するミラーの数も少ないため低損失な点で優れており、既に製品化もされている。その他、画期的な外部共振器はモノリシック型共振器と言われるもので、結晶の端面にミラー同様の反射膜を施し結晶内を共振器にしてしまう方法である。大きなサイズで品質が均一な非線形光学結晶が必要になるが、結晶をアクティブに環境制御することで安定な出力が確保できる。

4.3 外部共振器の仕組み

図5に示すとおり、本共振器は2枚の平面ミラーと2枚の凹面ミラーからなり、非線形光学結晶は2枚の凹面ミラーに挟まれて基本波は絞り込まれ、波長変換が行われる。一回の変換では微弱にしか変換されないが、数十回も基本波を入射させること(=リサイクリング)で高出力を得る。そのために、基本波が入射するミラー(図5のM1)は基本波に対して少なくとも95%以上の反射率を持つ必要があり、反射率が低ければ共振器内の光のリサイクリングが実現されず、逆に反射率が高ければ基本波は反射されてしまい、共振器内に光が入らなくなってしまう。

波長変換された光の出口(図5のM2)は基本波に対して高反射率を有し、波長変換された光に対しては高い透過率を有する必要がある。この点はミラーの性能に依

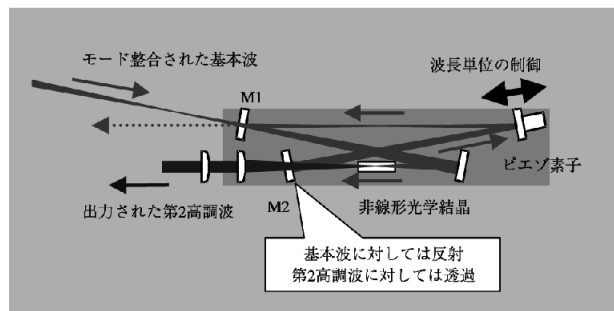


図5 外部共振器の仕組み

存し、誘電体多層膜によるコーティングの質によるが、最近では2波長に対して反射率と透過率を精度よく制御できる技術が確立されている。

また、基本波に対しては無反射となるプリユースタ角にカットした非線型光学結晶を共振器内に設置することで、低損失かつ結晶端面での無反射コーティングの損傷を回避する

ことができる。ただし、タイプI位相整合を取ると波長変換された光は異常光となり、出射端面において約15%程度の損失が生じることに注意する必要がある。本方法のほか、ミラーで確立された高い透過率を有するコーティングを結晶表面と裏面に施すことでプリユースタカット以上の低損失化を図る方法もあるが、前述のとおり損傷が入る可能性もあり、その選択は使用条件を考慮して選ぶ必要がある。

4.4 モード整合，インピーダンス整合

外部共振器の最適化のポイントはモード整合とインピーダンス整合にあり、これらの整合をとることで基本波のリサイクリングの回数は増え、高効率に波長変換が実現される。外部共振器は図5にあるように2箇所の集光点が存在し、固有の伝搬モードを有している。外部から光を入射させるためには入射させる光をレンズ系で伝搬モードに重なるように、調整する（＝モードの整合をとる）必要がある。いくら共振器内の光が多くリサイクリングするように調整された外部共振器でも、モード整合が取れなければ外部共振器内に光は入らず、共振器内の共振効果はえられない。一般的に2枚のレンズを使用してモード整合を図り、外部共振器に対して良好なビーム質を有する基本波をモード整合させ入力すると、90%程度の結合を実現させることが可能である。

また、入力結合ミラーの項で記述したように入射ミラーの反射率の選択は、外部共振器内の光のリサイクリングの回数（＝エンハンスメントファクター）を決める重要な項目である。一般に、共振器内のすべての損失のパーセンテージ a に対して、最適な入力結合ミラーの反射率は $(100-a)\%$ とされており、この整合を取ることが外部共振器のインピーダンス整合を取ることとなる。共振器内の損失を最低限に抑え、インピーダンス整合を取

った高い反射率を有する入力結合ミラーを選択することでエンハンスメントファクターは100程度に高めることが可能であり、最適化された外部共振器では変換効率50%以上が得られた報告もある。

4.5 外部共振器と基本波レーザー周波数の同調

外部共振器では基本波レーザー光が共振することで、共振器内における基本波強度が増し波長変換が高効率に実現されるが、基本波が共振するためには、図5に示すように共振器の全長を入射する基本波波長の倍数となるように、精度よく制御されなくてはならない。共振器の全長を調整する素子としてはピエゾ素子やボイスコイルモータなどのナノ単位で長さを制御可能なものを使用される。

また、常に共振器の共振状態を持続させるために、外部共振器の共振周波数と基本波の発振周波数を合わせる必要がある。モノリシック型外部共振器などの安定な共振器では基本波の発振周波数に変調をかける場合もあるが、一般的には、共振器長にフィードバックをかけて外部共振器の共振周波数に変調をかける。共振器安定化の方法としては、位相変調器を使用するFMサイドバンド法 [3] と Hancsh と Couillaud により提案された偏光差を利用する方法 [4] の2種類の方法があり、後者は使用する光学素子が一般的な光学素子でありながら、前者並みの性能が得られる方法として多用されている。

本方法を経て、サーボ回路を用いて常に共振器の共振周波数を変調かけることで安定な連続発振光の波長変換が実現される。サーボ回路に関して、変調素子を含めて広帯域な変調帯域が得られれば、外乱に対しても寛容で安定な動作が期待できる。

5 まとめ

波長変換による紫外光発生に関して、紫外光の特徴や用途からその意義を説明し、紫外光の発生に関する原理や方法を概説した。紫外光源の用途は理化学から工業用途まで幅広く、増加傾向にあるが、既存の赤外、可視光源と比べれば未だ研究段階であるものも少なくない。また、バイオや医療の分野への応用も研究されており、

紫外光の特性を利用した応用研究はますます増えるものと期待される。

一方、これら市場からの要求を満たす光源を供給するため、光学素子を含めた波長変換に関する研究開発も着実に進歩しており、数年前では考えられなかった紫外光源が現在、販売、開発されている。更なる需要に応えるためには、安定かつ長寿命で使い勝手のよい紫外光源の開発が鍵となると考えられる。最後に、紫外光源が使用される市場の拡大と産業用途に耐える紫外光源の開発が両輪となって、今後のレーザー応用分野が発展することを期待したい。

参考文献

- 1) K. Kato: *IEEE J. Quant. Electron.*, QE-22,1013 (1986) .
- 2) G. D. Boyd and D. A. Kleinman: *J. Appl. Phys.*, **39**, 3597 (1968) .
- 3) P. W. P. Dever, J. L. Hall, F. V. Kowalski, J. Hough, G. M. Ford, A. J. Munley and H. Ward: *Appl. Phys.* B**31**, 97 (1983) .

- 4) T. W. Hancsh and B. Couillaud: *Opt. Commun.* **35**, 441 (1980) .

■ Ultraviolet coherent light generation by frequency conversion

■ Yuichi Asakawa

■ Cyber-Laser Inc. Researcher



アサカワ ユウイチ

所属：サイバーレーザー㈱ 研究開発 G 研究者

連絡先：〒 223-8522 横浜市港北区日吉 3-14-1

慶応義塾大学先端科学技術センター 14-505

Tel. 045-560-6644 Fax. 045-562-2318

E-mail : asakawa@cyber-laser.com

経歴：理化学研究所で連続発振深紫外光源の開発

に従事し、2002年に慶応義塾大学院を卒業。サイ

バーレーザー㈱入社後、可視、紫外光源の開発

を行っている。趣味はサッカー、剣道、仕事 (I?)。