



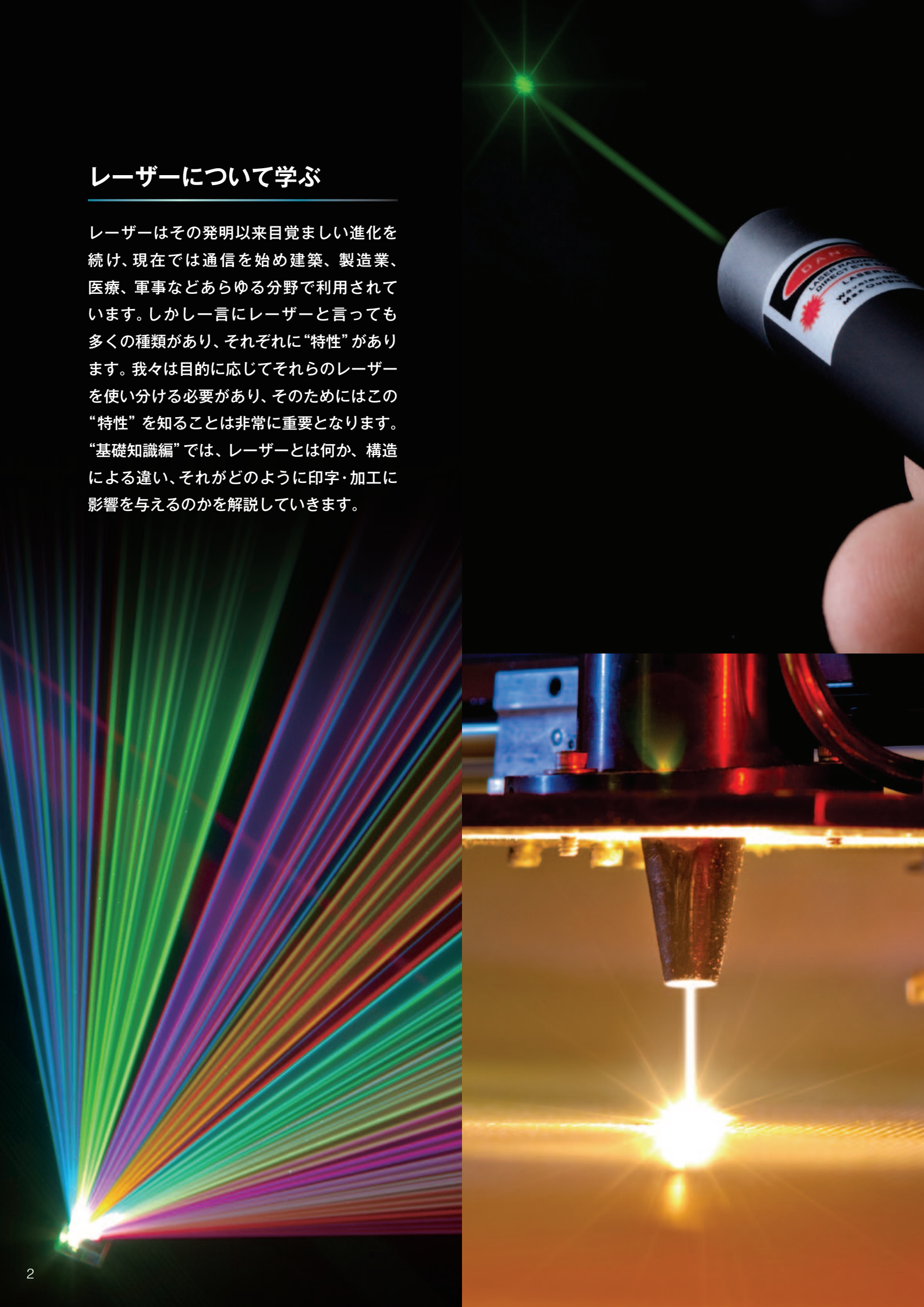
レーザー の教科書

基礎知識編

レーザーとは？ | レーザーの原理を学ぶ | レーザー発振器の構造

レーザーについて学ぶ

レーザーはその発明以来目覚ましい進化を続け、現在では通信を始め建築、製造業、医療、軍事などあらゆる分野で利用されています。しかし一言にレーザーと言っても多くの種類があり、それぞれに“特性”があります。我々は目的に応じてそれらのレーザーを使い分ける必要があり、そのためにはこの“特性”を知ることは非常に重要となります。“基礎知識編”では、レーザーとは何か、構造による違い、それがどのように印字・加工に影響を与えるのかを解説していきます。



1. レーザーとは？

レーザー (LASER) の意味

LASERとは、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation（誘導放出による光の増幅）の頭文字を並べた造語です。Laserは人工の光で自然光とは異なる特性を有しているため、様々な分野で実用化技術が開発され利用されています。

2. レーザーの用途

レーザーは遠くまで直進する、小さく絞れるなどの特性を生かし広く利用されています。
レーザーの市場は拡大の一途をたどり、製造業の効率化や品質向上に役立っています。



加工産業



自動車産業



食品産業

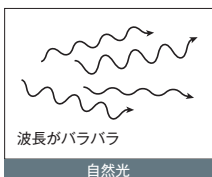


医療産業

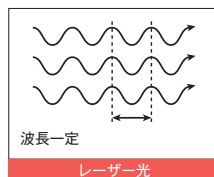
3. レーザーの特性について

レーザーは自然光とは全くことなる以下の特長を備えています。

1: 単色性



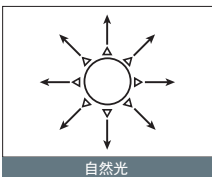
自然光



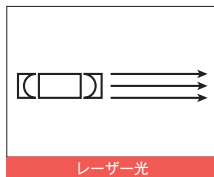
レーザー光

自然光は紫外線から赤外線まで様々な波長を含む光です。これに対して、レーザーは単一波長の光で、この特性を単色性と言います。単色性のメリットは光学設計の自由度が高くなることにあります。光の屈折率は波長により変化しますので、レンズを透過する自然光は含まれている波長の種類によって拡がる現象が発生します。これを色収差と呼んでいます。一方レーザー光は、単一波長であるために、同じ方向にしか屈折しません。例えば、カメラのレンズは色による歪みを補正する設計が必要ですが、レーザーではその波長のみを考慮すればよく、ビームとして長距離伝送したり、小さいスポットに集光する精密な設計が可能になります。

2: 指向性



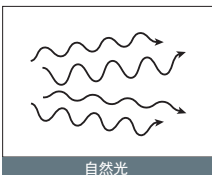
自然光



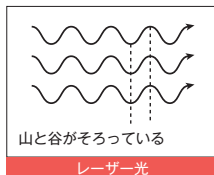
レーザー光

指向性とは、音や光が空間を進む際の拡がりにくさを言い、指向性が高いとは拡がり小さいことを表します。自然光はあらゆる方向に進行する光の集まりで、指向性を高めるためには進行方向以外の光を取り除く複雑な光学系が必要になります。これに対し、レーザーは指向性の高い光のため拡がりを持たずに直進させる光学設計が容易で、長距離伝送などが可能です。

3: 可干渉性



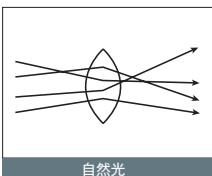
自然光



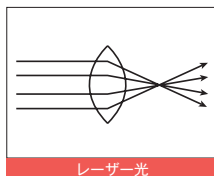
レーザー光

可干渉性とは、光の干渉のしやすさを表す言葉です。光を波と考えると、その波の位相が揃うほど過干渉性が高い波と言えます。例えば、水面の異なる波がぶつかり合うと、強め合ったり、打ち消し合ったりするのと同じ現象で、ランダムな波ほど干渉度合いが弱くなるのと同じです。レーザーは、位相・波長・方向がそろっているため、強い波を維持でき長距離を伝搬することが可能です。可干渉性が高い光は、長距離伝搬や光が拡散しないためレンズで小さいスポットに集光できるというメリットがあり、発生した光を別の場所に伝送し、高密度の光として利用することができます。

4: 高エネルギー密度



自然光



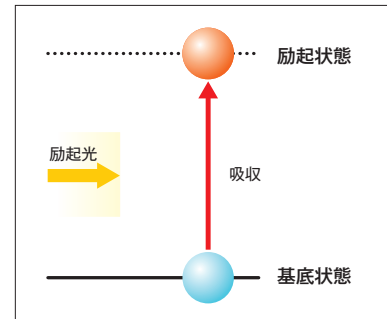
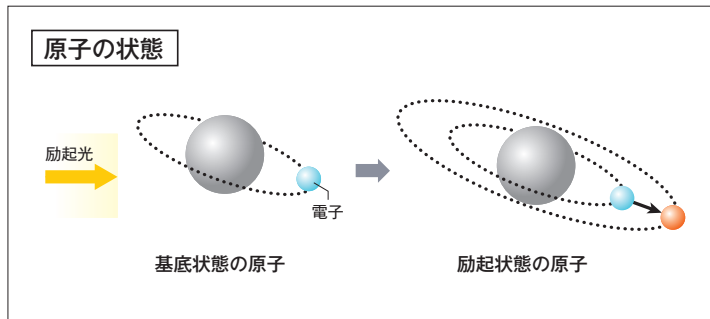
レーザー光

レーザーは単色性、指向性、過干渉性が優れているため、非常に小さいスポットに集光でき、高エネルギー密度の光を作ることが可能です。自然光では不可能な回折限界付近まで絞ることが可能です。（回折限界: 物理的に光の波長より小さく集光することができない限界のこと）レーザー光をより小さく絞ることで、金属の切断に利用できるほど光の強度（パワー密度）を高めることができます。

4. レーザー発振の原理

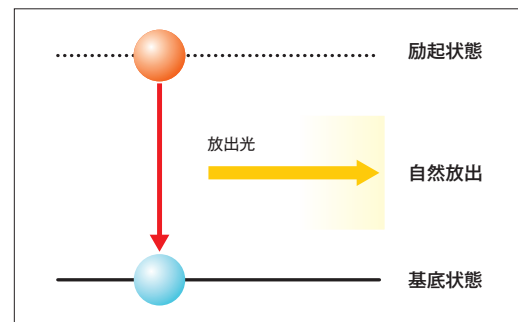
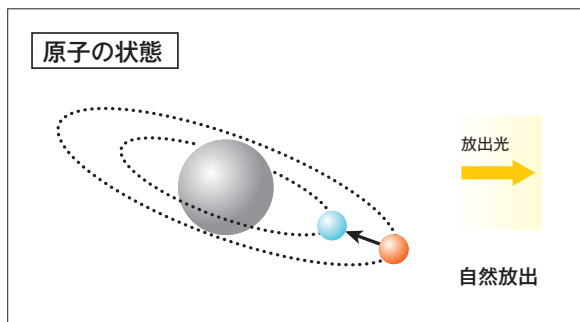
1: レーザーを発生させる原理

励起



レーザーを発生させるためには、レーザー媒質と呼ばれる原子または分子が必要です。そのレーザー媒質に外部からエネルギー(励起光)を照射することによって、原子はエネルギーが低い基底状態からエネルギーの高い励起状態に変化します。励起状態とは、原子内の電子が内側から外側の殻へ移動した状態です。

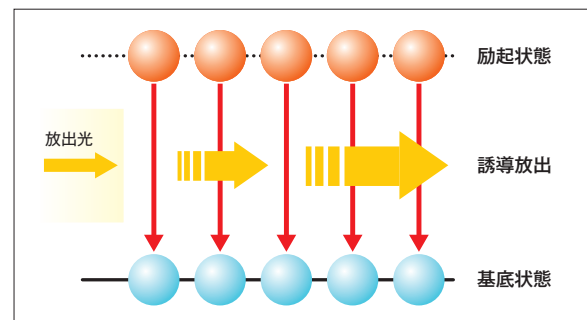
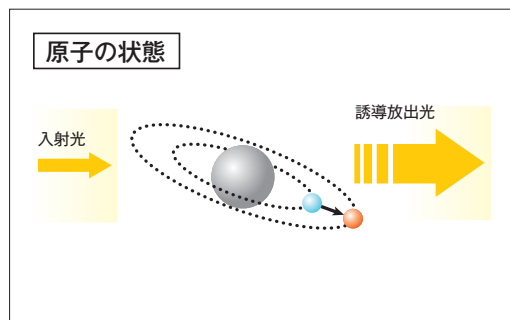
自然放出



原子が励起状態に変化したあと、ある時間が経過すると、原子は基底状態に戻ります(励起状態から基底状態に戻るまでの時間を蛍光寿命といいます)。このとき与えられたエネルギーを光として放出し基底状態に戻ります(自然放出)。この放出された光は、特定の波長を持っています。レーザーの発生原理は、励起状態を作り、発生する光を取り出すことを利用したものです。

2: レーザーを増幅させる原理

誘導放出



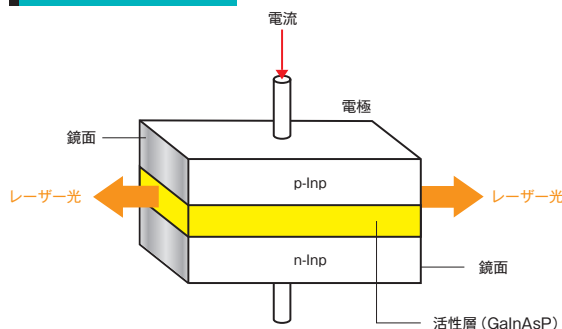
自然放出光を、より強い光であるレーザーとして利用するには、自然放出光を増幅させる必要があります。励起状態をある一定の時間保った原子は自然放出により光を放出し基底状態に戻りますが、励起光を強くすると励起状態の原子の数が増加し、自然放出する光が増えることにより誘導放出という現象が発生します。誘導放出とは、励起された原子に自然放出または誘導放出された光が入射すると、その光は励起原子のエネルギーを与えられ、その分強い光になるという現象です。誘導放出の後、励起原子は基底状態に戻ります。レーザーの増幅はこの誘導放出を利用しており、励起状態の原子数を増やすほど、誘導放出が連続的に発生して光は急速に増幅されレーザーとして取り出すことができるようになります。

5. レーザー発振器の構造

種類	媒質	発振波長 (nm)
固体レーザー	Nd:YAG, Nd:YVO ₄	1064
気体レーザー	CO ₂	10600
半導体レーザー	AlGaAs/AlGaInP/GaN など	様々
ファイバーレーザー	Nd/Yb 添加ファイバー	1000-1150

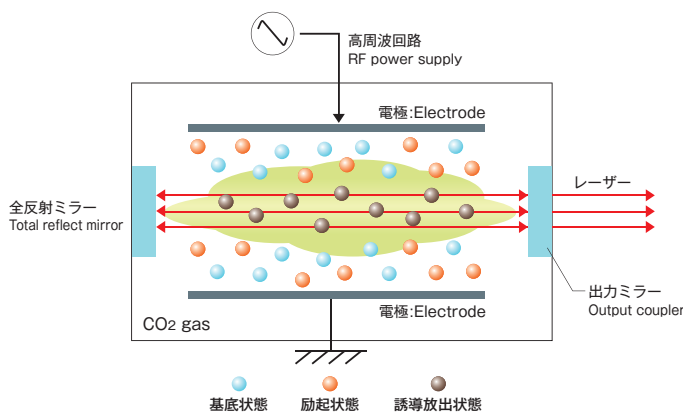
- ・ 固体レーザー：YAG レーザーと YVO₄ レーザーが一般的で、レーザー媒質に YAG、YVO₄ 結晶を使用しています。
- ・ 気体レーザー：CO₂ ガスを媒質とする CO₂ レーザーが広く使われています。
- ・ 半導体レーザー：活性層（発光層）の構造を持った半導体を媒質としたレーザーです。
- ・ ファイバーレーザー：2000 年代になって広く普及したレーザーで、文字通り光ファイバーを媒質としています。

1: 半導体レーザー



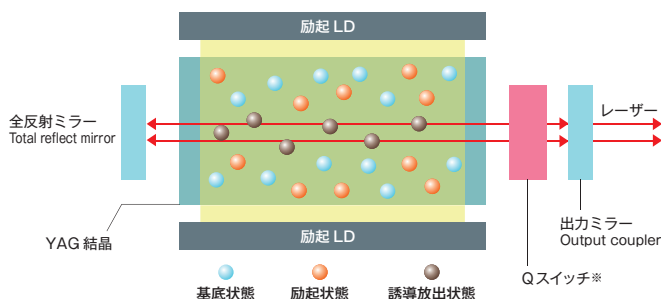
材質の異なる半導体結晶を重ねて活性層（発光層）を構成し光を発生させます。その光を両端に構成した一対のミラー間を往復させることで増幅されレーザーを発生させます。

2: 気体レーザー (CO₂ レーザー)



CO₂ レーザーは、CO₂ ガスを媒質としたレーザーです。CO₂ ガスを封入した管の中に放電を発生させるための電極が配置されています。電極には、励起源である高周波電力が投入できるように外部から電氣的に接続されています。電極間で放電することによりガス中にプラズマが発生し CO₂ 分子が励起状態に変化し、その数が増加すると誘導放出が始まります。また、光を往復させて発振させるための一対のミラーが対向して共振器が構成されています。この光が全反射ミラーと出力ミラーの間で光が往復し、増幅されレーザーとして出力します。発振波長は 10.6μm が一般的です。ガスの成分構成は、CO₂ は 10% 以下で、窒素 N₂ が 30% 程度、キセノン Xe が数%、残りがヘリウム He です。各ガスはそれぞれの役割があり、構造やレーザーの特性によって成分を変えています。

3: 固体レーザー (YAG レーザー、サイドポンピング方式)

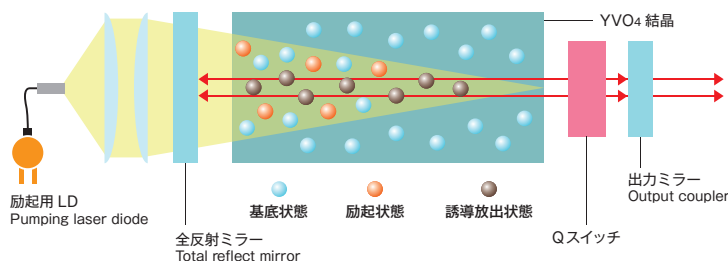


サイドポンピング方式の YAG レーザーとは、YAG 結晶をレーザー媒質とした固体レーザーです。YAG とは (Yttrium Aluminum Garnet) の結晶で Nd (Neodymium、ネオジウム) を添加しています。発振器の構成は YAG 結晶の軸と平行で両側に励起用 LD を配置しています。一対のミラーにて共振器を構成し、その間に Q スイッチを配置しています。発振波長は 1064nm です。サイドポンピング方式は、励起光を投入する面積が広いので、投入エネルギーを高くでき高出力が得られやすい構成です。パルス幅は比較的長く 100ns ～数 ms になり、パルスエネルギーが大きいパルスが発生させることが可能で、金属へのマーキング、切断、エンレーピング、溶接に使用されます。

※ Q スイッチとは

光の進行方向を変えることができる素子です。Q スイッチをオンにすると共振器内の光は曲げられ、共振器の外に逃がされ発振が止まります。Q スイッチがオンの状態は、発振が起きていない（誘導放出が無い）ので、結晶内の励起原子が増加し増幅度が高い状態になります。その状態から Q スイッチをオフにすると共振器で光が往復し急激に増幅されパルスとして出力させることができます。

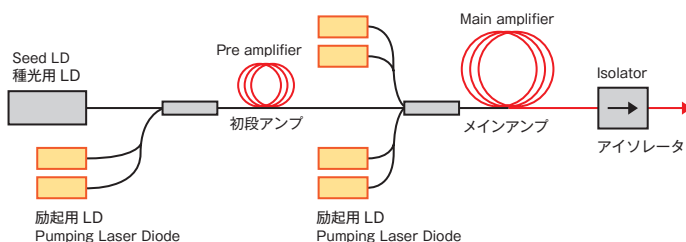
4: 固体レーザー (YVO₄ レーザー、エンドポンピング方式)



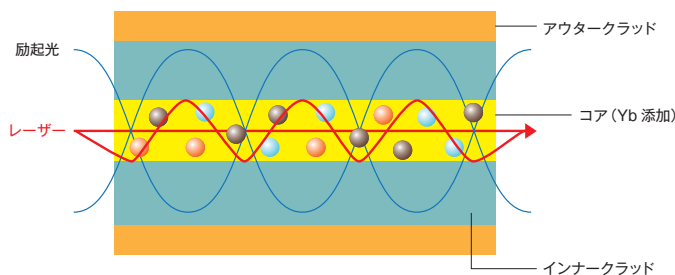
エンドポンピング方式の YVO₄ レーザーとは、YVO₄ 結晶をレーザー媒質とした固体レーザーです。YVO₄ とはイットリウムバナデート (Yttrium Vanadate) の結晶で、YAG 同様に Nd (ネオジウム) を添加しています。YVO₄ 結晶端面の片側から励起光を照射する方式で、一対のミラーで共振器を構成しミラー間に結晶と Q スイッチを配置しています。発振波長は Nd:YAG レーザーと同じ 1064nm です。増幅率が高いので結晶を小さくでき、YAG レーザーより短い発振器長になります。そのため、光はより短時間で結晶を往復し光の強度は急激に増加します。YAG レーザーより、高効率で高ピーク・短パルスになるのが特長です。また、結晶中心部での増幅度が大きく、発生する光はシングルモード^{*}になり、高品質のレーザーを出力することが可能です。

^{*}シングルモードとは焦点位置で最も小さいスポットに集光できる理想的なレーザーの状態です。

5: ファイバーレーザー



増幅用ファイバー構

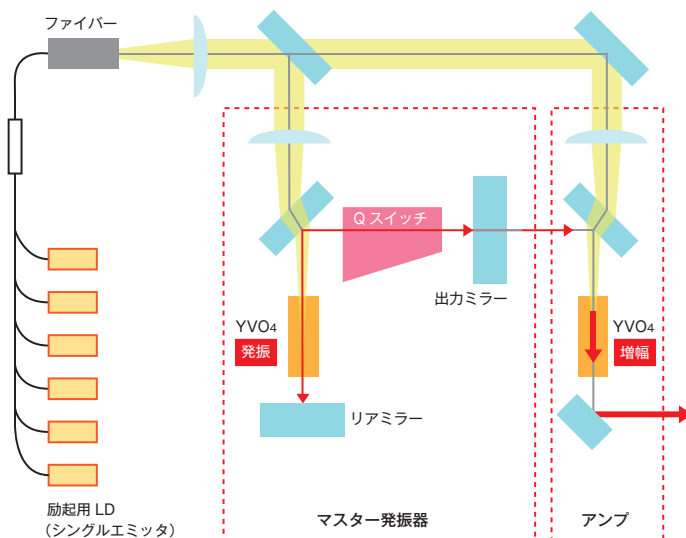


ファイバーレーザーとは、長距離通信の中継増幅の技術が高出力レーザーに発展したもので、ファイバーを媒質として使用しています。光ファイバーは中心に光が伝搬するコアとコアを同心円状に覆うクラッドで構成されています。ファイバーレーザーはそのコアをレーザー媒質として光を増幅します。そのためコアには Yb (Ytterbium、イッテルビウム) が添加されています。

ファイバーレーザーの構成は、種光 (Seed Light) と呼ばれるパルス光をレーザーダイオード (Seed LD) で発生させ、2 段以上のファイバーアンプによって増幅するのが一般的です。励起用 LD はシングルエミッタ (発光層が 1 個) の LD を複数個搭載しています。それぞれの LD は低出力ですので熱負荷が小さくなるメリットがあり、長寿命を実現しています。またこの LD の数を増やすほど高出力のレーザーが実現できます。ファイバーレーザーは発振効率が高く、固体レーザーやガスレーザーと比較して電力消費が低くなる特長を持っています。

増幅用ファイバー (初段、メインアンプ) は、コアと 2 層のクラッドの 3 層構造です。励起光は内側のクラッド (インナークラッド) と Yb が添加されたコア内を進み、コア内部の原子を励起状態にします。レーザーはコアに閉じこめられて進み、励起原子により増幅され、媒質内を進むほど強度が強くなります。固体レーザーや気体レーザーとは異なり、光は一方通行で往復することはありません。

6: S-MOPA^{*} (キーエンス オリジナル)

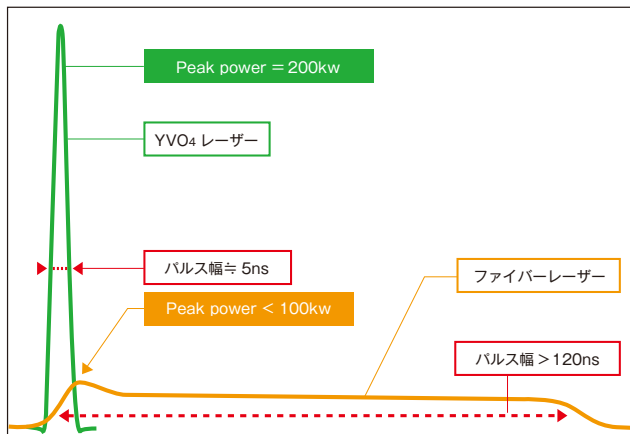


キーエンスの S-MOPA は YVO₄ レーザーの高品質・高強度と、ファイバーレーザーの長寿命かつ放熱特性に優れた励起方式のコンセプトを融合した次世代レーザー発振器です。S-MOPA は YVO₄ レーザー発振器 (マスター発振器) でパルスが発生させ、それを YVO₄ の増幅器 (アンプ) で増幅させる 2 段構成が特長です。マスター発振器で発生したパルスの高ピーク・高品質を維持しながら増幅させることが可能になりました。また、ファイバーレーザーの特長であるシングルエミッタの励起 LD を採用し、固体レーザーのマルチエミッタの LD (ひとつの半導体チップに複数の発光面を持つ LD) に対して熱密度が低くなったことで冷却負荷が小さくなり、固体レーザーでありながら長寿命を実現しています。

^{*} **Solid-state Master Oscillator Power Amplifier:**
YVO₄ レーザー発振器の高品質ビームはそのままに、ファイバーレーザーで用いられるアンプ技術を組み合わせることで高出力化。光源となる LD (レーザーダイオード) は放熱性の高いシングルエミッターを採用することで長寿命化を実現。

6. パルス特性とワークへの影響について

1: YVO₄ とファイバーレーザーのパルス



ここまで、様々なレーザーの構造を見てきましたが、YVO₄ レーザーとファイバーレーザーのパルスがどの程度の差があるのかを確認します。YVO₄ レーザーとファイバーレーザーの大きな違いは、ピークパワーとパルス幅です。ピークパワーは光の強度、パルス幅は光の持続時間です。YVO₄ は高ピーク・短パルスを作りやすく、ファイバーは低ピーク・長パルスを発生させやすい特長があります。レーザーを材料に照射した際、加工結果はパルスの違いによって大きく変わります。

2: 材料への影響

	YVO ₄ レーザー	ファイバーレーザー
白樹脂発色印字		
Niメッキ印字		
SUS深彫り印字	 <div>深さ 1um</div>	 <div>深さ 8um</div>

- YVO₄ レーザーのパルスは、材料に対して高強度の光を短い時間照射するため、表面層の浅い領域が急速に高温になった後すぐに冷却されます。照射部分は、沸騰した状態で冷却され発泡状態になったり、蒸発し浅く彫れたりします。熱が伝わる前に照射が終わるので、周囲への熱影響が小さくなります。
- 一方ファイバーレーザーのパルスは、低強度の光を長い時間照射します。材料はゆっくりと温度上昇し液体や蒸発する状態が長く続きます。そのため、彫りこみ量を大きくしたり、金属に大きな熱量を与えて酸化させ、黒く変化させる黒色印字を得意とします。

全商品、送料無料で

当日出荷

必要な時に、必要な量だけ
在庫不要でトータルコストを削減

インクジェットプリンタ、レーザーマーカの最新情報
www.keyence.co.jp/marketing



安全に関する注意

商品を安全にお使いいただくため、ご使用の
前に必ず「取扱説明書」をよくお読みください。

株式会社 キーエンス

技術相談、お問い合わせ

お客様の身近な技術営業が
ダイレクトにサポート

マーキング事業部

仙台営業所

〒984-0051 仙台市若林区新寺1-3-45
AIプレミアムビル
Tel 022-791-0911 Fax 022-791-0922

浦和営業所

〒330-0063 さいたま市浦和区高砂2-2-3
さいたま浦和ビルディング
Tel 048-823-1911 Fax 048-823-1922

東京営業所

〒135-0063 東京都江東区有明3-5-7
TOC有明ウエストタワー
Tel 03-3527-5211 Fax 03-3527-5200

名古屋営業所

〒460-0002 名古屋市中区丸の内3-20-17
中外東京海上ビル
Tel 052-950-5710 Fax 052-950-5720

大阪営業所

〒531-0072 大阪市北区豊崎3-19-3
ピアスタワー
Tel 06-6486-0911 Fax 06-6486-0922

福岡営業所

〒812-0011 福岡市博多区博多駅前1-21-28
博多駅前スクエアビル
Tel 092-452-8411 Fax 092-452-8422

マーキング事業部

〒569-0806 大阪府高槻市明田町2-13
Tel 072-686-3211 Fax 072-686-3011

本社・研究所

〒533-8555 大阪市東淀川区東中島1-3-14
Tel 06-6379-1111 Fax 06-6379-2222

マーキング機器専用ダイヤル

フリーダイヤル

0120-830-911

一部のIP電話からはご利用いただけません。

マーク5-1124

記載内容は、発売時点での当社調べであり、
予告なく変更する場合があります。
記載されている会社名、製品名等は、
それぞれ各社の商標または登録商標です。

Copyright© 2015 KEYENCE CORPORATION.
All rights reserved.

無料テスト印字・加工承ります



専任スタッフによるテストサービスを
ご利用いただけます。

ご依頼は当社 HP、またはお近くの営業所まで
お気軽にお声かけください。



印字用途



加工用途