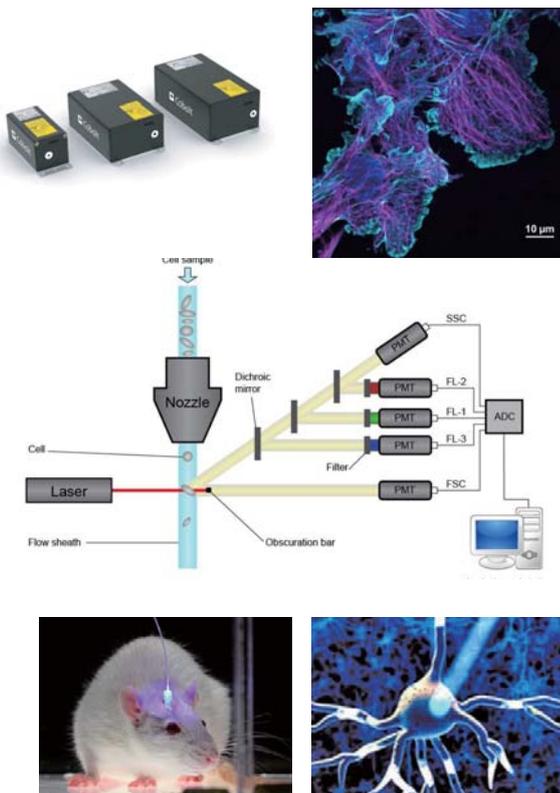


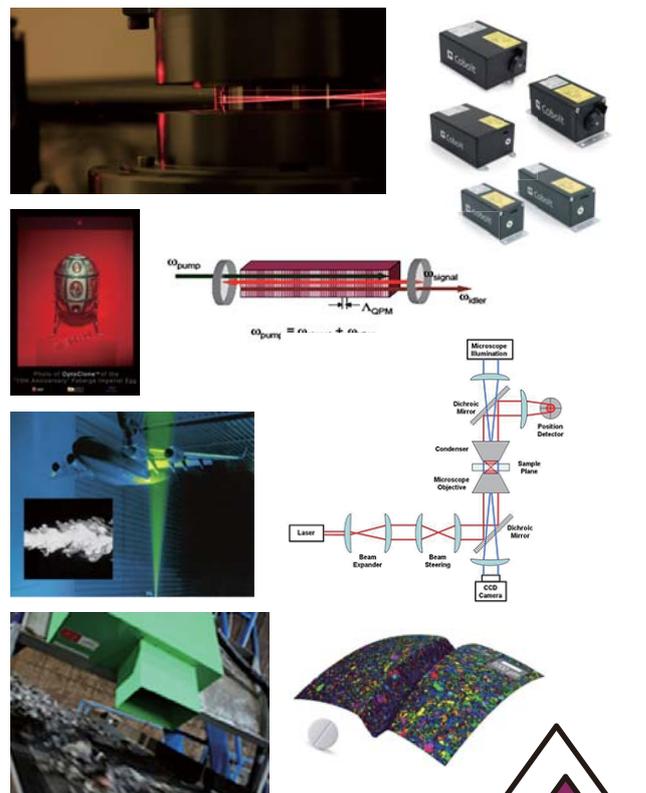
# Cobolt アプリケーションノート

- 蛍光顕微鏡用 ..... P.1
- フローサイトメトリー ..... P.1
- MALDI-TOF ..... P.2
- マイクロダイセクション ..... P.3
- 光遺伝学 ..... P.4
- 光音響 ..... P.5
- 動的散乱 ..... P.5
- ホログラフィー ..... P.5
- レーザードップラー流速計 ..... P.6
- レーザー誘起絶縁破壊分光法 ..... P.7
- LIDAR ..... P.9
- 光ピンセット ..... P.9
- ガス検知 ..... P.9
- ラマン分光 ..... P.11
- 半導体検査 ..... P.12

## 生物医学研究



## 産業計測



## 蛍光顕微鏡用レーザー

過去10年に渡って多くのガスレーザーが小型で長寿命な固体、半導体レーザーに置き換わりつつあります。

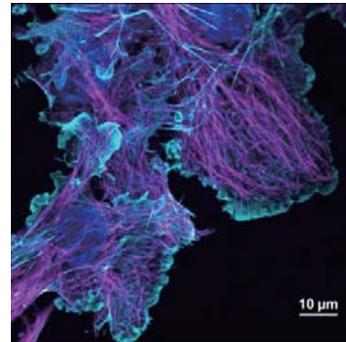
バイオイメージングにおいて有力な手段の1つである蛍光顕微鏡は蛍光色素や蛍光タンパク質を含む分子を、特定の波長の光で励起した後に放出される蛍光を観察することで得られます。励起光にはLEDやスーパーコンティニューム白色光が仕様されることもあります。例えば共焦点蛍光顕微鏡のような高解像度かつ高速技術は、高いレーザー出力と波長精度を必要とします。

HÜBNER Photonicsには、Coboltの単一縦モードレーザー、多波長レーザーSkyra、レーザーコンバイナーC-FLEX及び波長可変レーザーC-WAVEを提供することができ、蛍光顕微鏡用途に大きな貢献することが可能です。

例えば、近年より微細な細胞を観測できる超解像技術としてSTED顕微鏡では、励起用レーザーをドーナツ型のビームと組み合わせて、励起された蛍光発光を誘導放出により抑制し、試料上の焦点スポットを走査すると、従来の顕微鏡では得られない分解能の画像が得られますが、高出力レーザーが必要でした。しかしながら、Coboltとドイツ、ゲッティンゲンのMax Planck Instituteとの共同研究によって高性能、低ノイズ、小型なCWレーザーでも実現できることが最近実証されました。研究者らは500mW出力のCobolt Flamenco 660 nmレーザーを使用することで、高品質の生細胞STEDイメージングを生成し、超解像蛍光相関分光法を可能にするゲート検出方式を用いました。

特にCobolt 06シリーズの半導体レーザーは、最大150 MHzの高速変調が可能で、CLSM、スピニングディスク、TIRFMなどの全ての共焦点システムに適しています。さらに、優れたON/OFF変調は、光活性化、光変換、光遺伝学、レーザー操作、FRET、FRAPなどのアプリケーションにとって有効です。もちろん、これらのレーザーは高出力でも広い波長範囲で利用できるため、STORM、PALM、STEDなどの高解像度顕微鏡技術にも適しています。

最新の方法では、CLSMやラマン分光法などの手法を組み合わせる方法が見られます。04・05および08-01シリーズのCoboltレーザーは、非常に狭い線幅と優れたスペクトル純度により、ラマン分光に適しています。また、C-FLEXレーザーコンバイナーは、半導体レーザーのCobolt 06シリーズと、04・05及び08シリーズの狭線幅レーザーの両方をカップリングさせることで、設置面積を少なくすることができます。



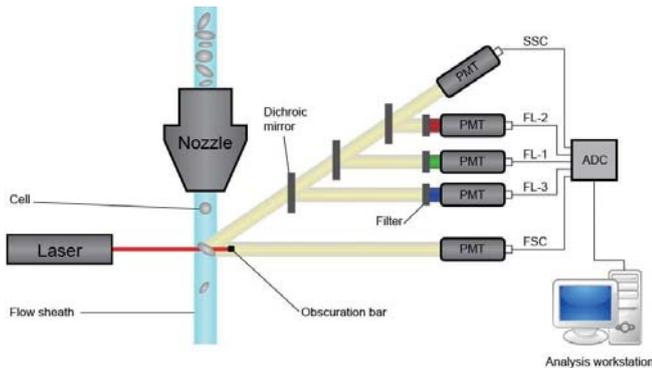
Cobolt Skyra™を用いた、単一分子局在化顕微鏡(SMLM)で撮影した画像  
(ヴュルツブルク ジュリアス-マクシミリアン大学の  
生物工学&生物物理学部)

## フローサイトメトリー用レーザー

フローサイトメトリーは、個々の細胞を高速な分析を可能にします。蛍光体で標識された細胞を励起するためにレーザーが使用されますが、多くの場合、複数の細胞の特性を得るために、複数のレーザー波長が必要です。

フローサイトメトリーでは、蛍光体で標識された細胞集団サンプルを液体に懸濁し、細胞を1つずつ、複数のレーザー光に非常に高速で通過させます。細胞の物理的及び生物学的特性は、散乱および蛍光シグナルを測定することによって得られます。細胞は、流体力学的に集束されたジェットストリーム又はマイクロ流体デバイスを使用することによって、レーザービームを通して誘導されません。得られた信号データはコンピューターで処理され、通常1次元のヒストグラムまたは2変量のドットプロットで表示され、サンプル内の様々な細

胞集団を物理的に分離、検出及び定量化されます。さらに高度なサイトメトリーシステムでは、蛍光活性化セルソーティング（FACS）を使用して、細胞集団を物理的に分離して精製することもできます。

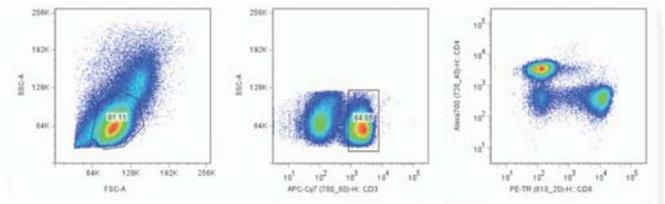


細胞から検出できる情報量を増やすために、複数のレーザー波長が使用されます。サイトメーターに装備されているレーザー波長が多ければ多いほど蛍光色が多くなり、サンプルから多くの情報を得ることができます。

フローサイトメーターのレーザー光は、多くの場合、すべての細胞が同じ光強度で照射するために、楕円形又はトップハット形状のビームプロファイルに形成され、正確に同じ位置に照射されます。これは再現性と信頼性の指標であるCV（変動係数）値にとって重要です。高性能サイトメーターに必要な他の重要なレーザーパラメーターは低ノイズ、出力安定性、ビーム位置安定性、ビーム品質になります。

フローサイトメトリーは、血液学および免疫学における重要なツールであり、免疫系を構成する数十の細胞型の詳細な研究を可能にしました。これは、細胞表面の特定のタンパク質受容体を標的とした抗体を使用することで可能です。抗体を蛍光標識タグに結合すると、特定のレーザー波長で照射したときに細胞表面で検出できるため、さまざまな自己免疫や疾患の状態を迅速に診断できます。細胞膜の完全性、電位、ミトコンドリア機能、カルシウム濃度を測定できる蛍光センサーもあります。蛍光タンパク質などの他の標識を使用して、細胞内の遺伝子発現を検出できます。サイトメトリー技術の他のアプリケーションには、ウイルス

学、幹細胞療法、精子選別、植物生物学、海洋生物学などがあります。



サイトメトリーデータの2変量2Dプロットの例

Coboltの信頼性の高いレーザーは、フローサイトメトリーに対するほぼすべての要件を満たします。特にCobolt Skyra™は、小型な管体から同時に最大4種の波長を発振することができます。レーザー光は自由空間又はファイバーで出力することができます。Coboltの製造技術であるHTCure™はすべての光学素子を同一の温度制御された基板に熱硬化接着させることで、ビームポインティングの安定性が非常に高く、ファイバー伝送での出力安定性も高まります。トップハットのビーム形状などのソリューションも提供することができます。

Cobolt 04-01、Cobolt 05-01、及びCobolt 06-01シリーズは、UV光を含む、フローサイトメトリーで通常使用されるすべての波長にわたって高出力レーザー光源を提供します。これらの特徴は、光ノイズが非常に低く、TEM<sub>00</sub>ビームが非常に良好であることです。これらをC-FLEXレーザーコンバイナープラットフォームに組み合わせて、小型で使いやすいマルチカラー発振器を作製することができます。

### MALDI-TOF用レーザー

MALDI-TOFは、マトリックス支援レーザー脱離イオン化 (MALDI) 飛行時間型 (TOF) 質量分析法の略です。通常、MALDI-TOF質量分析では化学化合物はイオン化されて荷電分子になり、その質量と電荷の比率 ( $m/z$ ) が測定されます。

ソフトイオン化は無視できるほどの加熱で、試料を壊さずに一価の分子イオンを生成することができますことから、MALDI-TOFは、ペプチド、脂質、その他の有機高分子などの生体分子の分類に

広く使用されている分析方法です。従来、MALDI-TOFの光源として窒素レーザー(337nm)が使用されてきましたが、最近では信頼性と長寿命の固体レーザー(355nm)が一般的になっています。

Cobolt TorシリーズQスイッチ355nmレーザーは、MALDI-TOFに十分なパルスエネルギーをもち、7kHzで2~5nsのパルス幅を出力することができます。

《CoboltパルスレーザーTorシリーズ一覧表》

項目/モデル	Tor™			Tor™ XS		Tor™ XE
	355	532	1064	532	1064	1064
波長 (nm)	355	532	1064	532	1064	1064
動作モード	フリーランニング			外部トリガーによる発振		外部・内部トリガーおよびゲート発振
パルスエネルギー (μJ)	18 ± 3	60 ± 5	160 ± 15	50 ± 5	50 ± 5 100 ± 10	500 ± 50
ピークパワー (kW)	> 3	> 11	> 29	> 12	> 12 > 25	> 128
繰返し周波数 (kHz)	7			単一ショット~ 1 kHz		
パルス幅 (ns)	4 ± 1			2.5 ± 1.0		
パルス間ジッタ (μs)	< 1			< 2		
長時間安定度 (±3°C, 8時間)	< 3 %					
空間モード (TEM <sub>00</sub> )	M <sup>2</sup> < 1.3					
ビーム対称性 (出射口)	> 0.65 : 1	> 0.85 : 1	> 0.90 : 1	> 0.85 : 1		
偏光 (直線、垂直)	> 100:1					

### マイクロダイセクション用レーザー

レーザーキャプチャーマイクロダイセクション (LCM)、レーザーマイクロダイセクション (LMD) 又はレーザー支援マイクロダイセクション (LAM) は、組織又は生物の顕微鏡領域から特定の細胞を分離できるようにするサンプル前処理における手法です。

この技術はレーザー光 (通常、損傷を最小限に抑えるために UV 領域が使用されます) を使用して、ユーザーが事前に定義した領域 (ROI) を分離することができます。

Cobolt TorシリーズQスイッチレーザー(355nm)は、従来の窒素ガスレーザーと比較して、回折限界出力で、よりタイトなフォーカスを可能にします。さらに最大 7kHz のパルス繰り返し周波数により高速走査が可能になり、短いパルス幅により約 3 kW の高いピーク強度が得ることができます。

《本応用例に適したレーザー》



Cobolt Tor™ シリーズ355nmパルスレーザー  
パルスエネルギー: 18μJ/pulse (単一ショット~7 kHz)

## 光遺伝学用レーザー

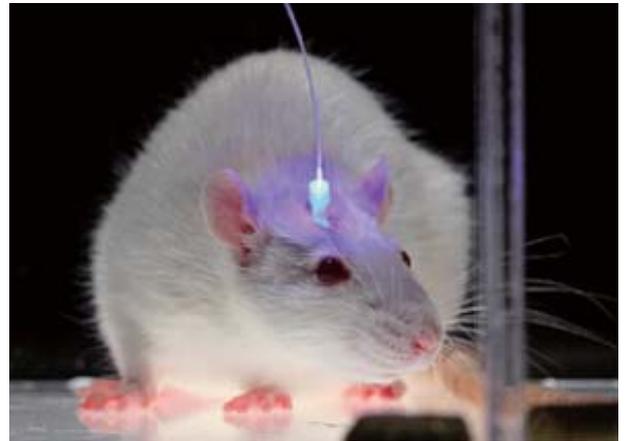
光でタンパク質を制御する光遺伝学（オプトジェネティクス）は、ここ数年の間に神経科学に革命をもたらし、人間の脳の機能をより深く理解するための新しい研究です。特定の脳細胞内の神経活動パターンを正確に思考、行動及び記憶をどのように引き起こすかを研究することができ、うつ病、中毒、統合失調症及びパーキンソン症候群のような神経および精神障害疾患の解明に役立つことが期待されています。

哺乳類の脳は数千万にもおよぶ数多くの絡み合ったニューロンがミリ秒スケールの電気信号で生化学的な計算する複雑なシステムです。

神経科学者は何十年も前に、脳の実際の働き方をよりよく理解するため、脳内にある1種類だけの細胞を制御していましたが、電極を使用した電気刺激の方法では異なる細胞種に挿入部位の神経回路を刺激してしまい、この課題に対応できませんでした。オプトジェネティクスは、この課題に対して画期的な解決方法を得ました。これは動物の培養ニューロン細胞又は脳細胞を、オプシンと呼ばれる光応答性タンパク質を発現するように遺伝子組み換えを可能にしたことです。このような光感受性ニューロンは非常に高い時間的及び空間的精度で選択的にオン又はオフにすることができ、ニューラルネットワークの構造及び機能の解明を可能にします。

異なる応答パターンを持つ多くの異なるタイプのオプシンが存在します。オプシンはイオンチャネルを開き、細胞活性を「スイッチオン」にし、細胞活性を閉じ又は「スイッチオフ」にします。オプシンは470nmで吸収ピークを有し、スイッチオフされるオプシンは550nmから近赤外までの感度ピークを有します。最も一般的に使用されるスイッチオフされるオプシンは、590nmにピークが存在します。

実験では神経科学者は、ある特性を有するオプシンを保有するウイルスを用いて、試験動物の脳の標的部分に感染させます。脳の部分に制御されたレーザー光を照射させるために、動物の頭に光ファイバーコネクタを取り付けます。



神経科学者の重要な課題は、脳のターゲット部分を過度に露出させることなく、所望の効果を達成するのに十分な光で照射することです。オプシンには適切なレーザー波長と広い出力にわたって調整可能であることが必要です。実験が数分間続くことがあるので、経時的な出力安定性も非常に重要です。また、0～200Hzまでの変調周波数が必要であり、周波数が高くないにもかかわらず立ち上がり時間がmsの範囲になければなりません。変調中の安定したパルス安定性も非常に重要になります。

オプトジェネティクスは、遺伝学、心理学、神経学並びにレーザー物理学及び光ファイバーを含む多分野からなる研究分野です。Coboltはこの分野において使いやすいレーザーソリューションを提案するために、この分野の著名な研究グループの一部と緊密に協力してきました。

Coboltによるオプトジェネティクス用ライトエンジンソリューションは473nm, 532nm, 561nm, 594nm, 640nmのレーザーで構成されており、光ファイバー出力や高速変調が可能です。



## 光音響用レーザー

光音響イメージングは、超音波と光学技術の利点を利用した高解像度ハイブリッドイメージング技術です。

光音響の名前の通りこの方法の基礎にある物理的原理は光音響効果です。効果を観察するために、変調又はパルスレーザーが使用されます。レーザー光は吸収されて熱弾性膨張を引き起こし、超音波トランスデューサーによって検出される音波が得られます。

この手法は主に、生体内で高解像度のリアルタイム非侵襲的バイオイメージングに使用されます。顕微鏡を用いた検査または断層撮影に適用できます。可視光や近赤外光に比べて超音波の散乱や吸収が目立たないため、高解像度とコントラストが得られます。したがって、光音響イメージングで高コントラストの画像を取得するには、調査対象のサンプルの吸収曲線に従ってレーザーの波長を選択する必要があります。

HÜBNER Photonics では、最大 7 kHz の繰り返しレートと最大 160µJ パルスエネルギーを備えたパルスレーザーのコンパクトな Cobolt Tor シリーズは、光音響顕微鏡アプリケーションに非常に適しています。

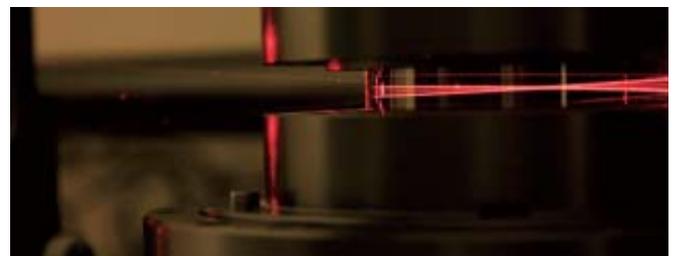
### 《本応用例に適したレーザー》



Cobolt Tor™ シリーズQスイッチレーザー  
波長: 355, 532, 1064nm  
パルスエネルギー: 50 – 150 µJ/pulse (単一ショット~7 kHz)

## 動的光散乱法用レーザー

動的光散乱法 DLS は、懸濁液中の微粒子または溶液中のポリマーのサイズ分布を測定するために使用されます。レーザー光は 2 つの偏光子の間のサンプルを通過し、スペックルパターンが記録されます。粒子の動的情報は、記録された画像の強度の自己相関から導き出されます。



動的光散乱用レーザー。スイスLS Instrumentsの厚意により掲載

光の散乱は光の波長に対する粒子のサイズに依存し、可視光源は nm から mm までのサイズの粒子を測定することができます。さらにレーザー光の波長は、検出器の感度範囲内にあり、懸濁液や溶液中の粒子の吸収領域外にある必要があります。通常、散乱光強度は微弱であるため、高出力レーザーがよく使用され (200mW)、散乱光強度の変動はレーザーの強度ノイズ (rms) に依存するため、これらは最も重要な仕様になります。

HÜBNER Photonics では、多岐にわたる波長と低ノイズの Cobolt レーザーを取り揃えているため、DLS 測定に最適です。

## ホログラフィー用レーザー

ホログラフィーの基本原理は、20 世紀の前半に 1971 年に「ホログラフィック法の発明と開発」でノーベル賞を受賞したデニスガボールによって発見されました<sup>[1]</sup>。しかし、芸術分野として 3D 画像を表示するための技術としての光ホログラフィーが登場したのは、1960 年にレーザーが発明された後のことでした。

近年の固体レーザーの性能向上は、長いコヒーレンス長、波長安定性、小型化、高出力をもたらし、ホログラフィーに十分な性能をもつようになりまし

た。さらに新世代の高感度な感光剤の開発と波長選択可能な LED ベースの可用性が実現しています。新規な照明光源はホログラフィック技術の新しい応用分野を切り開きました。

近年のホログラフィックを用いた応用例は、銀行券やパスポートへのセキュリティホログラムの作製や、バーチャルリアリティ (VR) や拡張現実 (AR) などのホログラフィック光学素子 (HOE) を用いた高解像度なフルカラー 3D 映像を生成があります。

セキュリティ業界など多くの例では、HOE の大量生産には通常、エンボス加工技術を使用して実現されます。しかし AR / VR 向けガラスの場合、解像度の要件ははるかに高くなるため、これらの HOE を印刷するにはレーザーが必要で

す。レーザー技術、乳剤、照明光源の進歩により、白色光ホログラフィーが大幅に改善され、繊細な 3D ホログラフィーへの展開が開かれました。Optoclones™<sup>2</sup> などのトゥルーカラーホログラムは非常に現実的で、ファベルジェの卵などの貴重な芸術品の 3D ホログラフィーを作成するために使用されています。芸術品の輸送が困難な状況には、安全に多数の人々が鑑賞させることが可能です。これらの白色光ホログラムは、3~5 波長の組み合わせによって数時間わたって露光され、頻繁な輸送に耐えることができよう



ハベル・ピエルハーゲンとギリシャのホログラフィー研究所による、ファベルジェ帝国の卵のOptoClone。

これらすべてのホログラフィックおよび干渉技術には、長いコヒーレンス長、優れた波長安定性と精度、及び高い出力安定性を備えた可視域の単一縦モード (SLM) レーザーが必要です<sup>3</sup>。これらの技術が量産に移行するにつれて、長期にわたる信頼性と安定性及び様々な環境に対する要求が高まっています。

HÜBNER Photonics の Cobolt レーザーは、紫外

から近赤外域までの範囲からなる単一縦モード (SLM) レーザーを取り揃えております。100m の安定したコヒーレンス長、TEM<sub>00</sub> で高いビーム品質、幅広い動作温度での優れた波長安定性、非常に高い信頼性をもち、産業分野における厳しいホログラフィーアプリケーションに最適です。(例：457nm、473nm、491nm、515nm、532nm、561nm、640nm、660nm) さらに 450nm ~ 650nm にわたって波長可変できる単一周波数レーザー C-WAVE は、ホログラフィー応用にユニークな付加価値を加えることができます。これは書き込み波長を柔軟に選択でき、ホログラムのコピーが困難になり、セキュリティ分野にとって非常に魅力的です。

[1] “The Nobel Prize in Physics 1971”. Nobelprize.org.

[2] Sarakinor, A., Lembessis, A., “Color Holography for the Documentation and Dissemination of Cultural Heritage : OptoClones™ and Four Museums in Two Countries”, Journal of Imaging (15 June 2019)

[3] Hens, K., Sperlinga, J., Sherliker, B., Waasem, N., Ricks, A., Lewis, J., Elgcrona, G., “Lasers for holographic applications: important performance parameters and relevant laser technologies,” Proc. SPIE 10944, Practical Holography XXXIII: Displays, Materials, and Applications, 1094408 (1 March 2019)

## レーザー Doppler 流速計用レーザー

レーザー Doppler 流速計は、気体又は液体中の粒子の動きを分析します。

粒子の速度は、干渉縞の変化から測定することができます。干渉縞を通過する粒子を、入射光と散乱光の間の Doppler シフトに比例する周波数で変動する強度で光を散乱し、粒子の速度を測定します。通常、速度ベクトルの各次元に対して 1 つの波長が使用されます。

LDV による粒子流分析は、航空工学の流体力学、自動車の燃料噴射、半導体製造の噴射特性診断、ススに対する環境モニタリング測定など、科学と産業の幅広いアプリケーションで使用されています。

このようなアプリケーションに適したレーザー

光源には、長期間で安定したコヒーレンス長、低光ノイズ、優れた出力安定性が必要です。Cobolt の CW 固体レーザーは、このアプリケーションに最適で、特に 355nm レーザーは粒子に対するさらなる情報をもたらします。

●仕様 黒は 04 シリーズ 赤は 05 シリーズ 青は 04/05 共通

項目/モデル	Zydeco™	Zouk™	Twist™	Blues™	Calypto™	Fandango™	Samba™	Jive™	Mambo™	Bolero™	Rogue™	Flamenco™	Rumba™
波長 [nm]	320	355	457	473	491	515	532	561	594	640	640	660	1064
出力[mW]	20	10, 20	25, 50 100, 200	25, 50	25, 50, 75, 100, 200	25, 50, 100, 150, 300	25, 50, 100, 150, 200, 300 <sup>※2</sup> , 400 <sup>※2</sup> 500, 1000, 1500	25, 50, 75 100, 150, 200 <sup>※2</sup> 200, 300 500	25, 50 100	500	1000	100 <sup>※1</sup> 100, 300, 500	400 <sup>※1</sup> 500, 1000, 2000, 3000
波長公差	±0.15 nm	±0.3 nm										±0.6 nm	
ノイズ (Pk-Pk) 20Hz~20MHz	< 5 %	< 2 %, typical < 1.5 %		< 3 %	< 2 %, typical < 1.5 %		< 3 %	< 7 %	—	< 1 %			
ノイズ (rms) 20Hz~20MHz	< 0.7 %	< 0.25 %, typical < 0.15 %		< 0.3 %	< 0.25 %, typical < 0.15 %		< 0.3 %	< 1 %	< 0.5 %	< 0.1 %			
長時間安定度 (±3°C, 8 時間)	< 2 %	< 2 %		< 2 %	< 3 %	< 2 %	< 2 %	< 3 %	< 2 %				
ビーム拡がり角(全角)[mrad]	< 0.8	< 1.2	< 1.2	< 1.2				< 1.3	< 1.4	< 1.5	< 1.6		
ビームモード(TEM <sub>00</sub> )	M <sup>2</sup> < 1.1												
ビーム径(出射口)[μm]	700±70	700±50										1000±50	
スペクトル幅	< 1MHz										< 150 GHz	< 1MHz	
波長安定性(ウォームアップ後)	< 1 pm / ±2°C (8 時間)										—	< 1 pm / ±2°C (8 時間)	
ビーム対称性(出射口)	> 0.95 : 1		> 0.90 : 1		> 0.95 : 1				> 90 : 1		> 0.95 : 1		
ビームポインティングスタビリティ	< 10 μrad / °C, typical 5 μrad / °C												
偏光(直線、垂直)	> 100 : 1												

※1 04-51 (AOM統合) モデルになります。

### レーザー誘起絶縁破壊分光法 (LIBS) 用レーザー

LIBS は金属、半導体、ガラス、生物組織、プラスチック、土壌、薄塗料コーティング及び電子材料等の幅広い材料を高速で化学分析を可能にする原子発光分光法です。

LIBS は短パルス (ns レベル) で高エネルギーのレーザーパルスを材料表面に集光させ、アブレーションされた材料の発光スペクトルを分光させることで元素の定量分析をすることができます。発生されたプラズマ (> 100,000K) は、アブレーションされた励起された原子及びイオン種に解離させ、分光器によって検出することができます。この方法は基本的に試料の調整を必要とせず、重金属元素を PPM レベルで物質の形態 (相) に依存することなく高速かつ高感度な化学分析を可能にします。

LIBS はその場計測及びオンライン分析の構築を可能にする携帯性のある分析装置として近年注目

を浴びている技術です。さらに小型高エネルギーパルスレーザーにより小型化が可能になりました。小型 LIBS 装置が得意とする応用例はアルミニウムのリサイクルです。アルミニウムは基本的に 100% リサイクル可能であり、リサイクルされたアルミニウムの消費電力は鉱石からアルミニウムを製造する消費電力のわずか 5 % です。



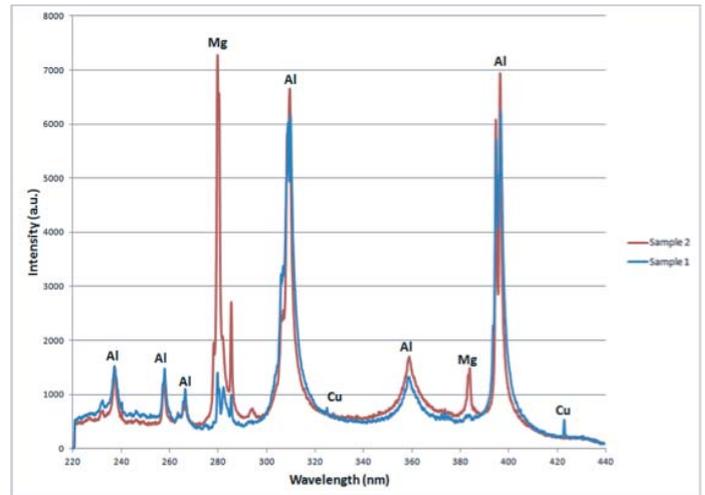
自動スクラップ装置におけるLIBSを用いた金属選別



ナノ秒パルス1064nmレーザー Tor

ACREO と Kimab 社のアルミニウムリサイクル研究者は産業用途に適した堅牢性と小型化を満たすことができる LIBS 装置を開発するために、Cobolt Tor™ レーザーを LIBS に採用しました。Cobolt Tor™ レーザーは小型で高性能な LD 励起 Q スイッチレーザーであり、研究用途から産業用アプリケーションへの応用を高める可能性を持っています。このレーザーは、安定した繰返し周波数 ( $> 7 \text{ kHz} < 1 \mu\text{s}$  のパルス間ジッター、図 4 参照) で、 $100 \mu\text{J}$  クラスのパルスエネルギー [1064nm、パルス幅は数 ns、高品質のビーム ( $M^2 < 1.3$ )] を持っています。最も大きな特徴は従来の高パルスエネルギーの Nd : YAG レーザーと比較して非常に小型なこ

とです。レーザー共振器は密閉されており、様々な環境下において堅牢で長寿命を保証し、厳しい産業用途への組み込みに非常に適しています。



得られた発光スペクトル

#### 《CoboltパルスレーザーTorシリーズ一覧表》

項目/モデル	Tor™			Tor™ XS		Tor™ XE
波長 (nm)	355	532	1064	532	1064	1064
動作モード	フリーランニング			外部トリガーによる発振		外部・内部トリガーおよびゲート発振
パルスエネルギー (μJ)	18 ± 3	60 ± 5	160 ± 15	50 ± 5	50 ± 5 100 ± 10	500 ± 50
ピークパワー (kW)	> 3	> 11	> 29	> 12	> 12 > 25	> 128
繰返し周波数 (kHz)	7			単一ショット~ 1 kHz		
パルス幅 (ns)	4 ± 1			2.5 ± 1.0		
パルス間ジッタ (μs)	< 1			< 2		
長時間安定度 (±3℃、8 時間)	< 3 %					
空間モード (TEM <sub>00</sub> )	$M^2 < 1.3$					
ビーム対称性 (出射口)	> 0.65 : 1	> 0.85 : 1	> 0.90 : 1	> 0.85 : 1		
偏光 (直線、垂直)	> 100:1					

## LIDAR

LIDAR は、飛行時間 (TOF) の原理に基づきリモートセンシング技術です。

LIDAR は自動運转向けに近年大きな注目を集めていますが、建設、ロボット工学、測量、及び軍事用途に対してすでに確立された技術となっています。

LIDAR システムに最適な光源を選択するときは、様々な環境を考慮する必要があります。光が伝搬する媒質やサンプルの特性 (吸収及び散乱)、アイセーフ波長、検出器の感度等が挙げられます。LIDAR は通常、大気透過ウィンドウ (800~1500nm) 内でレーザーを使用します。水中 LIDAR 深度の研究では、この波長の光は、たとえば 1064nm よりも減衰が少ないため、一般に 532nm レーザーが使用されます。

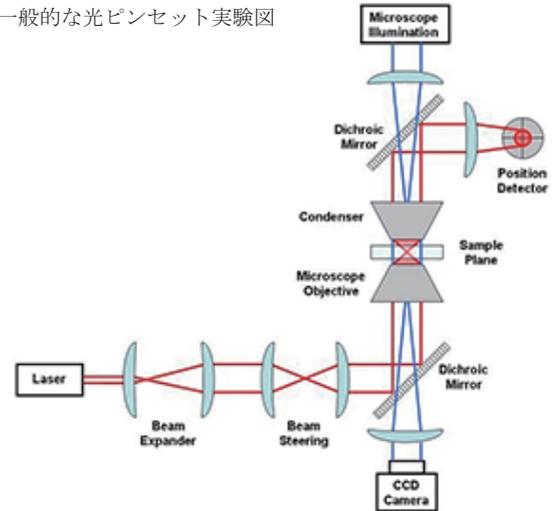
Cobolt Tor シリーズの Q スイッチレーザーは、地上からの大気調査によく使用されます。Cobolt Tor シリーズは 355nm, 532nm, 1064nm のラインナップからなり、高いビーム品質 (TEM<sub>00</sub>)、十分なパルスエネルギー及び優れたパルス間安定性をもつため LIDAR 光源に適しています。

## 光ピンセット用レーザー

レーザー光の集光点は強い電場勾配が生じ、誘電体粒子を引き寄せることができます。また、レーザー光は伝搬方向に沿ってビーム内の粒子に力を加えることができます。この力を利用することによって、細胞を操作することが可能です。

Cobolt 社の DPSS レーザーは、光ピンセットに非常に重要な優れたビーム品質、高いビームポインティング安定性及び低い光ノイズを持っており、光ピンセットの実験に多くの実績を持っており、ビームウエスト位置では非常に強い電界勾配が含まれています。誘電体粒子は、ビームの中心である最も強い電界の領域への勾配に沿って引き付けられることがわかります。また、レーザー光はビーム伝搬の方向に沿ってビーム内の粒子に力を加える傾向があります。この力を利用することで、細胞を操作させたり、位置の移動を行うことができます。

一般的な光ピンセット実験図



《Cobolt 1064nmレーザー-Rumbaの仕様》

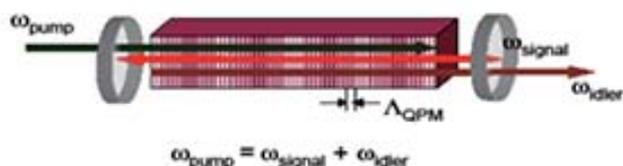
波長(nm)	1064nm
出力(mW)	500, 1000, 2000, 3000
光ノイズ, 20Hz~20MHz(pk-pk)	<1%
光ノイズ, 20Hz~20MHz(rms)	<0.1%
出力安定性(8時間±3°C)	<2%
ビーム発散角(全角, mrad)	<1.6
ビーム品質(TEM <sub>00</sub> )	M <sub>2</sub> <1.1
ビーム径(出射口)(μm)	700±50
線幅(FWHM)	<1MHz
波長安定性(安定時)	< 1 pm ( ±2°C, 8時間)
ビーム対称性(出力口)	>0.95:1
ビームポインティング安定性	< 10 μrad/°C (典型値5 μrad/°C ,10-40°C)
偏光比(直線, 縦)	>100:1
保証期間	24ヶ月

## ガス検知用レーザー

光音響赤外分光法 (PAS) は環境モニタリング、プロセス制御、医療における微量ガス検出及び分析にとっても有望な技術です。

試料に吸収された赤外光は運動エネルギーに変換され、マイクロフォンで検出できる音響波を発生します。これは幅広いダイナミックレンジと高速応答時間を備えた、感度が高い小型かつ堅牢な分析方法です。近年では、高出力で単色かつ波長可変な中

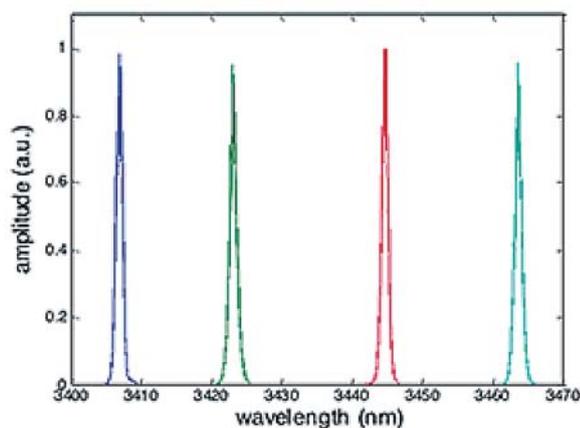
赤外パルスレーザーと MEMS 加工カンチレバーマイクロフォンの開発により、ppb レベルの感度と多岐に渡る検出対象物を検出可能な PAS システムが可能になりました。



QPM非線形結晶を用いたOPOの原理



OPOを用いた小型Mid-IRレーザーOdin

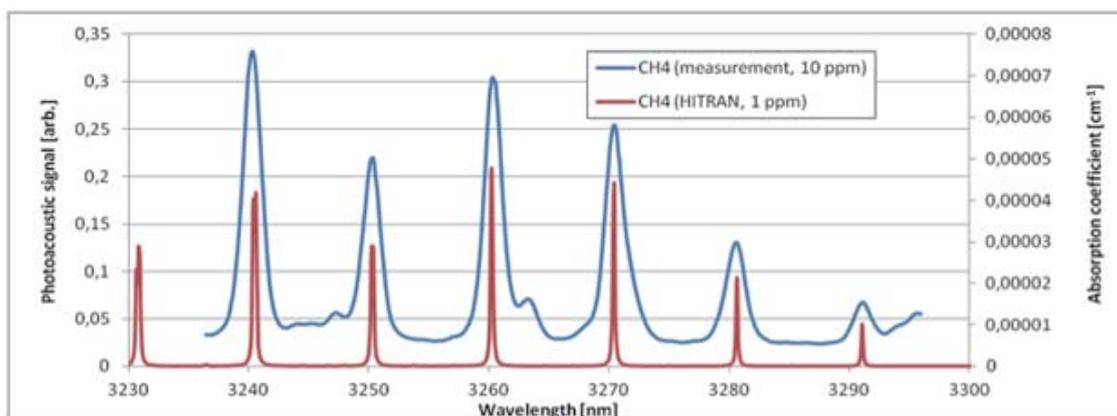


60 nmに渡るOdinのOPOスペクトル

Coboltの中赤外レーザーOdinは、多くの面でPASシステムに最適です。共振器内の非線形結晶に励起光を照射することで、シグナル光とアイドラー光の2つの波長を生成するパラメトリック発振器（OPO）です。発振波長は非線形光学結晶（NLO）の構成に依存し、波長範囲はNLOの透過率によってのみ制限されます。この非常に広いスペクトルと波長可変性は、他の中赤外光源よりも長所となります。例えば2.8 ~3.6 $\mu\text{m}$ において高出力で波長可変なレーザーが可能で、これは汚染又は有毒物質であるBTX、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、HCN、HCL、HF等の電子遷移に対応するので、感度の高い炭化水素検出にとって特に重要な波長範囲になり、他の中赤外レーザー技術と比較してOPOの波長可変機能は、複数のガス検出を可能にします。Odinは励起レーザーとOPO共振器はCoboltのHTCure密封パッケージ技術を使用することで、小型で堅牢に製造されています。

レーザーヘッドはわずか125x70x4mmであり、高い環境信頼性を持っており、(衝撃値60G、-20 $^{\circ}\text{C}$ ~+70 $^{\circ}\text{C}$ の耐温度変化)このサイズ、信頼性及び利便性は微量ガス検出のための小型計測器を可能にします。

小型なOPO-PAS技術の多くの有望な用途には、例えばメタン（CH<sub>4</sub>）の環境、自動車の排ガス測定及び工場の排出ガスモニタリング並びにプロセス制御のためのBTX分析があります。これらのアプリケーションにおいてOPO / CE-PAS技術は、現在広く受け入れられているFTIR分光法の感度と分解能の限界を打破する大きな可能性を秘めています。



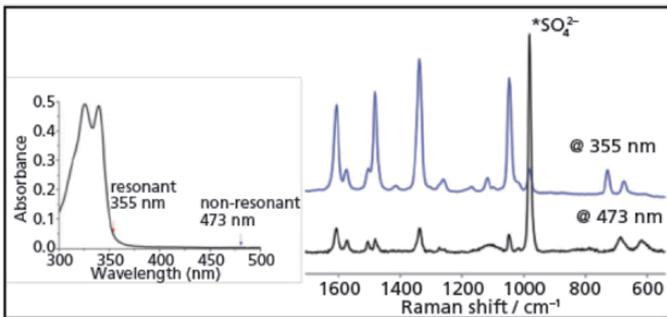
波長可変中赤外レーザー Odin (95mW) を用いた CH<sub>4</sub> の検出。検出限界は 1 秒の積分時間で 3 ppb であることが分かった。(Co Gasera Ltd, Turku, Finland)

## ラマン分光用レーザー

「光の非弾性散乱」すなわちラマン効果は、1928年に初めて Chandrasekhara Venkata Raman によって発見され、1930年にノーベル賞を受賞しました。ラマン分光法では対象となる物質の非弾性散乱によわずかに周波数シフトされた光を調べることで物質の特定をすることができます。

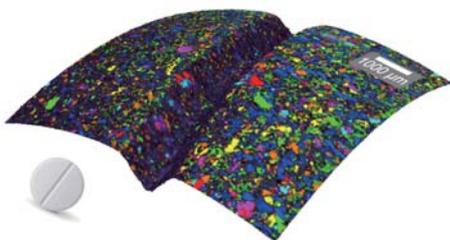
近年の技術的進歩により、小型かつ高感度でラマン分光器の開発が可能になりました。これは、レーザー発振器の小型化やスペクトルの改善が大きく寄与しています。

### 《共鳴ラマン効果の例》



473nmのレーザー励起ではなく355nmを選択することで観察されたラマン信号がより強くなり、分解能が改善された。  
(Co WR Browne、グローニンゲン大学化学研究所、オランダ)

ラマン分光法は試料にレーザー光を照射することによって得られる極めてわずかな波長シフトを検出する必要があります。ラマン分光装置には様々なタイプがあります。インラインプロセス用にファイバースコープを用いたラマンシステム、単一分子レベルで生体サンプルをイメージングできる超高解像度ラマン顕微鏡、そして最近ではフィールド検査アプリケーション用の非常に小さなハンドヘルドタイプのラマン分光器もあります。例えば爆発物の検出または法医学調査に使用されます。



錠剤のトポグラフィックラマン画像 (Witec社)

ラマン分光法では、紫外から近赤外域まで、様々な波長が一般的に使用されています。より短い波長の光は、長波長の光よりも強いラマン散乱光を生じるため、短波長のレーザー光を用いたラマン分光は、高速で低ノイズのCCD検出器（最大800nmまで）の使用を可能にし、高い解像度も可能にします。しかしながら、短波長ではサンプルからの蛍光によるバックグラウンドノイズが非常に高くなります。これらの事項を考慮すると、多くのアプリケーションで最適な波長は約780~790nmであることが分かります。ただし、蛍光性の高い材料の場合は、近赤外域でより長波長のレーザーを使用する必要があります。特に無機材料の場合や、共鳴ラマン及び表面増強ラマン分光法（SERS）での使用のために、可視域の波長も多く使用されています。また紫外域レーザーを用いたラマン散乱光はより強いですが、蛍光バックグラウンドからラマン信号を除外する必要があります。また、共鳴効果を利用してラマン信号を強く増強するために、場合によっては、広く波長可変な狭帯域光源が望まれる場合もあります。

Cobolt のレーザーは、高解像度なラマンイメージングに最適な世界で最も幅広い小型レーザーを提供します。HTCure による超堅牢な製造技術により、安定した単一周波数動作、広範囲の動作温度にわたって狭い線幅（すべての DPL で 1MHz 未満）、極めて低いスペクトルドリフト (<1 pm)、及びスペクトル純度 (80dB を超え、実力値ははるかに高いです) が保証されます。これにより、非常に高分解能のラマン分光が可能になります。単一周波数では波長可変な C-WAVE は、先端増強ラマン分光法 (TERS) などの高分解能ラマン分光法にも非常に適しています。

## 半導体検査

半導体検査で用いられる手法には干渉法、偏光解析法、粒子分析、フォトルミネッセンス、蛍光及びラマン分光法などがあります。

干渉法は、一般的に基板の平坦度を測定するために使用されます。これはレーザー光をウェハー表面に照射し、反射光によって形成された干渉パターンから測定されます。この測定には良好なビーム品質、長いコヒーレンス長及びポインティング安定性が必要です。また、エリプソメトリーは試料に対する入射光と反射光の偏光状態を分析することで、組成、粗さ、結晶性、ドーパ量、導電率、屈折率測定など、様々な材料特性を分析する手法であり、適切なレーザー光を使用することで、膜厚はサブナノメートルの分解能を得ることができます。

CoboltのLD励起固体レーザーは、単一周波数、優れた出力安定性、ビームプロファイル、低ノイズであることから、これらのアプリケーションに適しています。



カンタム・ウシカタ株式会社

〒224-0053 神奈川県横浜市都筑区池辺町4666  
Tel: 045-345-0002 Fax: 045-345-0012  
www.kantum.co.jp E-mail: info@kantum.co.jp

