

世界最高出力の深紫外ピコ秒 パルスレーザー

スペクトロニクス株式会社

代表取締役社長 岡田 穰 治

スペクトロニクス(株) 商品開発Gr. 折井 庸 亮
スペクトロニクス(株) 商品開発Gr. 村山 伸 一
スペクトロニクス(株) 商品開発Gr. 松原 聖 治
スペクトロニクス(株) 商品開発Gr. 内海 功 朗

はじめに

微細加工用レーザー発振器がほぼ海外勢で占められているため、国内ユーザーは海外製レーザー発振器の性能に加工品質を左右されていた。弊社は国内ユーザーが満足する高品質レーザー加工を実現するため、レーザー発振器のみならず周辺技術(熱解析/制御システム、加工光学系等)も自社開発し、顧客ニーズを満たす新しいレーザー技術の独自開発に成功した。新型レーザーのパルス幅が従来には無い 35 ピコ秒(ピコ秒は1兆分の1秒)であるため、フィルムや CFRP などの新素材を高速に高品質(バリ無し)で加工可能である。ランニングコストの低減も可能となり、実用開発に着手した。

開発のねらい

先行する欧米レーザー発振器メーカーは、受動モード同期式と呼ばれる、非常に短いパルス幅(数十フェムト秒(フェムト秒は1,000分の1ピコ秒)から20ピコ秒程度)を発生することに適した、元は研究用途で利用される方法を流用して高出力化し、微細加工用途に使用している。この方法は構造が複雑で大型化する傾向がある

ため、コストが高くなる傾向が強く、消耗品も多いことからランニングコストが増大する。

更に、環境温度が変化しやすく振動が多い産業現場の使用では、材料の膨張収縮や振動による光学部品の姿勢変化が避けられず、安定したレーザーを得ることが非常に難しい。この点から、産業用途には適した技術とは言い難い。

実際に、弊社もパルス幅が4ピコ秒の受動モード同期式レーザー発振器を試作して、材料の加工能力を検証した。その結果、確かに加工品質は高いが、加工速度が極度に遅いことが明確になり、このままでは生産性の観点から産業用途に採用されることが困難であると判断した。

また、従来より使われているQスイッチ式パルスレーザー発生方式を利用すると、レーザー発振器は小型化が可能で、加工速度も非常に速い。しかし、この方法では原理的に最短でもパルス幅が1ナノ秒(つまり1,000ピコ秒)以下にすることは原理的にも困難で、高品質な加工の実現は非常に難しいのが現実である。

従って、従来は、

- ① 加工は高品質だが、加工速度が遅く本体価格/ランニングコストが高いピコ秒レーザー
- ② 加工速度が速く、本体価格/ランニングコストも安いですが、加工品質の低いナノ秒レーザーの二者択一をユーザーは迫られる状況に

あった。

実際にレーザーによる微細材料加工の文献を調査してみると、20～100ピコ秒のパルス幅でも、高品質な微細加工が実施できる可能性があることが明確になった。しかし、従来の受動モード同期式でもQスイッチ式でも得られない領域のパルス幅を、確実に、しかも安価に得られる方法を開発しなければならなかった(図1)。

従来のパルスレーザー技術

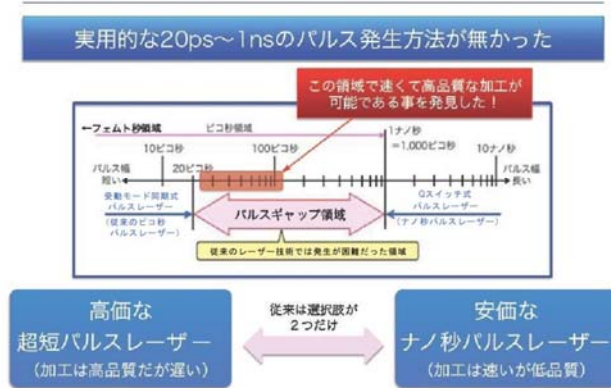


図1 従来のパルスレーザーの領域

そのようなレーザー発振技術がもし実現すれば、加工品質が高いまま、より加工速度の高い、実用域で使用可能となる理想的な産業用途向けの微細加工用レーザー発振器が実現できるので無いかと考えるようになった。

このような状況の下、弊社では光通信業界で明確になっていた迷惑現象である、“緩和振動”現象を積極活用する方法でピコ秒パルスが発生する方法を考案した。この方法でもし高出力なピコ秒パルスレーザーを実現することに成功すれば、小型・安価でランニングコストの安い、高信頼性レーザー発振器の開発に近づくことが期待された。

実際に、この案に基づいてNEDO等の支援を受け、従来には無かった20～100ピコ秒のパルス幅を持つレーザー発振方式で、かつ低価格でロバストな方法を独自に開発する方法を模索した。微細加工用に使用するレーザーとして、より短い波長に変換しやすい特性を持つことも重視して、従来には全く無い、新しい技術開発に着手

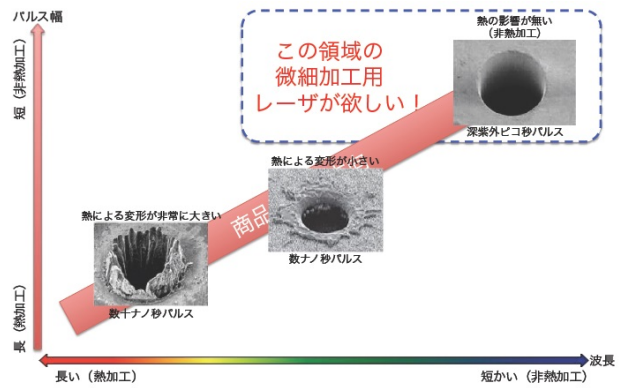


図2 目指したレーザーの領域

した(図2)。

開発した新型パルスレーザーは、新素材といわれるCFRPやポリイミドフィルム、SiCやGaNなどのパワー半導体等の微細バリレス加工に有効な、深紫外域、紫外域、可視光域の高出力微細加工用レーザーの発生が期待できることで、実用化開発を進めることとなった。

装置の概要

機構内にバルクアンプを採用し、DFB半導体レーザーで発生させた狭スペクトル幅のピコ秒パルスを、形状維持したまま増幅している。これによって、非線形光学素子を利用したピコ秒パルスの波長変換で問題となっていたスペクトル許容幅を満たすことが可能となり、高効率な波長変換が可能なピコ秒パルスを実現した。

図3はそのレーザー発振器の構成を、図4はレーザー発振器の外観を示す。

技術上の特徴

従来のレーザー技術では、

- ① 半導体レーザーから短いパルスを安定的に出射させ、これを材料加工が可能なレベルに増幅すること
- ② レーザーパルスをより短い波長へ高効率に変換するため、狭帯スペクトルのまま大幅に増幅すること

の2点を同時に達成することが困難という問題

弊社の新方式～ハイブリッド型ピコ秒レーザー技術～

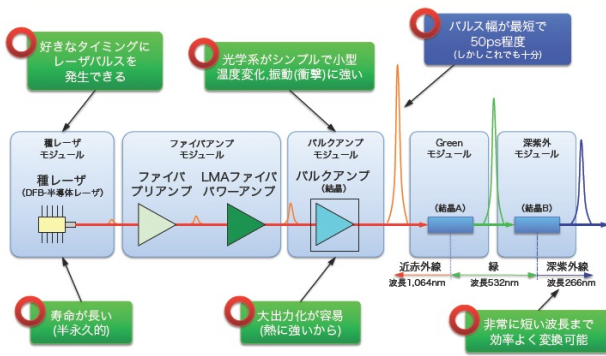


図3 レーザーの構成

があった。

半導体レーザーから得られるピコ秒パルスレーザーは極端に出力が低く、増幅時に様々なノイズ光を同時に増幅してしまうために、S/N比が極端に悪化し、何を増幅しているのかが解らなくなるという欠点を持っていた。また、半導体レーザーから得られるピコ秒パルスレーザーは、非常に大きなペDESTAL^{※1}を持っているため、ピーク光よりもペDESTAL成分に増幅エネルギーを消費され、信号光であるピコ秒パルスレーザーを増幅することが困難であることから、世界中のどのメーカーも光増幅に成功していなかった。

また、より微細な加工に適した短い波長のレーザーに高効率に変換するため、非常に狭い



図4 開発したレーザー発振器

スペクトル幅のまま、加工可能なレベルにレーザーパルスを増幅する新しい技術の開発に成功した。

弊社は、任意の波形および周波数の駆動電流パルスが装置に入力された場合でも、その周波数で安定的に短いパルスのレーザー光を出射させることができる短光パルス発生装置および短光パルス発生方法を提供することを特許出願し、困難だった約50ピコ秒のパルス幅の光を安定的に発生させることに成功した。また、この光を材料加工に利用可能な光増幅技術の開発にも成功した。

具体的には、

- ① パルス幅15～50psのレーザーを安定的に発生する技術
- ② 非常に微弱なピコ秒パルスレーザーを超低ノイズで大幅に増幅する光増幅技術
- ③ ペDESTAL成分の小さいピコ秒パルスレーザーを発生するレーザーパルス生成技術
- ④ レーザーパルスを大幅増幅する際に、スペクトル幅の伸張を極度に抑えた光増幅技術の実現に成功した。

これらの実現により、一般的な材料加工用レーザーでは加工中に発生した熱が材料を溶かし、それが冷えて工程で固まってバリになるが、本製品は光が材料に当たっている時間がとても短いため、材料に熱が発生する前に加工が完了するバリレス加工が可能となる。

しかも、波長が短いために加工対象物の表面の原子が光電効果によって容易に電離し、材料表面に残留した陽イオンの反発により材料が空气中に離散する加工が可能となり、熱の影響も、材料の融点の影響も受けない非熱加工（アブレーション加工）が世界で初めて可能となった。

以上の通り、専用設計の半導体レーザーのゲインスイッチングによってピコ秒パルスを緩和振動現象によって発生させる方式を本格採用し、半導体レーザー技術、ファイバーレーザー技術、バルクレーザー技術を融合して、世界で初め

※1 光パルス波形に含まれる台形状の不要なパワー成分であり、加工品質の劣化を招く。

て産業用途で使用可能な深紫外線(波長 266nm)のピコ秒パルスレーザーを実現した。

従来のように、加工品質が高い反面、高価で加工速度の遅いフェムト秒パルスレーザーか、安価だが、加工品質に課題のあるナノ秒やピコ秒のパルスレーザーの二者択一では無く、50ピコ秒の実用性の高い中間領域のレーザーは微細加工分野で従来技術にくらべ革新的利点を提供する。特徴としては以下の通りである。

① 種光源に半導体レーザーを使用し、構成部品から劣化部品を低減

モード同期法を用いたピコ秒レーザーの場合、2~3年毎に部品劣化による種光源の定期交換が必要だったため、長期運用には多額のランニングコストが必要だった。

開発したピコ秒パルスレーザーでは種光源にDFB半導体レーザーのゲインスイッチ法を採用し、更にすべての励起用半導体レーザーに信頼性の高いシングルエミッタタイプを採用しました。このため長期運用においてランニングコストを従来より安価に抑えることができる。

② 高スループットで高品位な加工を実現

開発したピコ秒パルスレーザーはビーム品質 $M^2 < 1.2@100\text{kHz}$ を誇り、パルス幅 $< 50\text{ps}$ 、パルスエネルギー $> 100 \mu\text{J}@100\text{kHz}$ を合わせ持ち、効率的で高品位な非熱加工を実現する。生産ラインに組み込むことも可能となった。

実用上の効果

① 構成部品から劣化部品を低減

このため長期運用においてランニングコストを従来より安価に抑えることが可能になった。

② 効率的で高品位な非熱加工を実現

従来の最大25倍の加工速度で、高速微細加工を実現。生産ラインに組み込むことも可能になった。

③ 高効率波長変換

高効率な波長変換でハイパワーを実現した。

また本開発により実現したピコ秒パルスレーザーは、今後日本のものづくりで重要な分野の微細加工に貢献が想定される用途であるフレキシブルガラス、強化ガラス、ポリイミド、セラミクス、CFRP、その他新素材などへの速度を求める微細加工が求められる分野でのバリレス加工で幅広い波及効果が期待される(図5)。

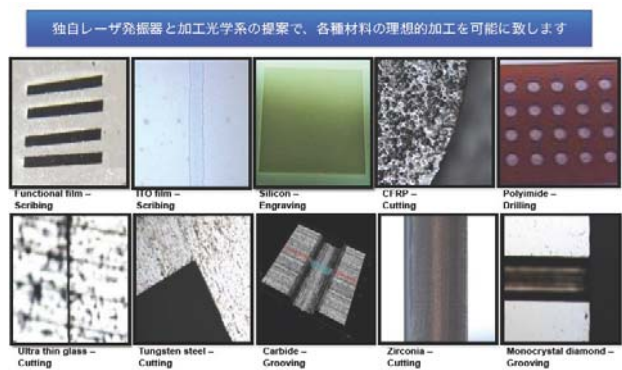


図5 新素材への加工用途

むすび

弊社では今後もレーザー発振器の更なる短パルス化・短波長化・高出力化を進め、微細加工用途への貢献を深めていく予定である。