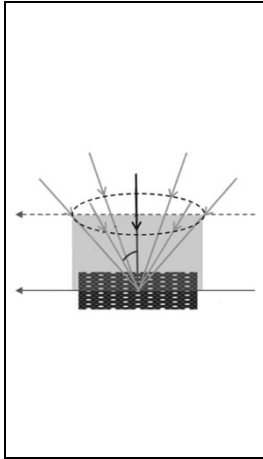


# 空間光変調技術を用いた高精度・高スループットレーザー加工技術と実用化プラットフォームの構築



宇都宮大学 オプティクス教育研究センター  
早崎芳夫，長谷川智士

## 1. はじめに

フェムト秒レーザー加工は、半導体素子やセラミックスの低マージン切断や超微細穴加工、半導体光検出素子表面上へのナノ構造形成による検出の高帯域と高感度化、金属に特殊な光沢感を与えるカラードメタルを含む光反射率制御、親水・疎水性制御のような表面改質、光メモリー<sup>1)</sup>や光導波路<sup>2)</sup>フォトニック結晶<sup>3)</sup>をはじめとする材料内体積型光学素子や複屈折光学素子の作製に使われており、ナノ秒やピコ秒レーザー加工、機械的加工や化学的加工では実現の難しい特殊表面加工や高品質な内部加工に極めて高い有効性と革新性を有する。近年では、5G など情報通信量の増加に対応するため、マルチモードファイバに光信号を多重化する空間多重伝送技術を実現する光モード合分波器用 3 次元導波路や、振動や温度などの環境条件に対して高度に安定動作する光導波路・分光器・光変調器を一体で実装するモノリシック量子計算用光回路等の新しい応用展開も出てきた。

フェムト秒レーザー加工による新規な構造形成の発明から 20 年以上が経過し、その後の応用開発から、実用デバイスに向けた有望な技術が開発されてきた。しかし、これまでに加工された光学素子は、小規模な試験販売までに留まり、製品としての大規模な生産には至っていない。他の技術との競合を考えると、費用対効果に見合う性能と機能を有する応用開発が重要である。すなわち、フェムト秒レーザー加工により圧倒的な安価でその光学素子に必要な性能と機能を得られるか、フェムト秒レーザー加工でしか実現できない性能と機能を得られるかである。数千万円以上の光源の価格や加工スループットを考えると、既に他の技術で作製されているモノをフェムト秒レーザー加工で作製することは得策で無いように思われる。研究者は、これまでにない素子、既存加工技術の 10 倍以上の性能（加工精度，加工スループット，加工サイズ）を創造しなくてはならない。

この数年、レーザー光源や自動ステージ等の費用対性能の向上，IoT の発展に伴う多品種生産増加等の産業構造の変化により、日本の得意産業の 1 つであるレーザー加工産業は追い風である。フェムト秒レーザーは、10 年前と同価格であるが、10 倍から数 10 倍の出力増，数倍の短期パルス安定性向上，長期安定性の格段の向上（ほぼノーメンテナンス）である。従って、フェムト秒レーザー加工の品質やコストが改善され、産業技術としての利用増大が見込める。

サブミクロンオーダーの分解能を有するフェムト秒レーザー加工で、ミリメートル以上の実用的なデバイスサイズを実現するためには、膨大な数のパルス照射を必要とする。そのため、加工スループットの向上は、産業利用の上で喫緊の課題である。その課題に対して、従来のビーム走査によるレーザー加工と同様に、レーザーのハイパワー化と高繰り返し化，ステージやスキャナの高速化に加えて、並列加工法が有効である。特に、空間光変調素子（SLM: spatial light modulator）に表示された計算機ホログラム（CGH: computer generated hologram）は、任意で可変な並列のフェムト秒レーザー加工を実現する<sup>4)</sup>ことができる。これは、ホログラフィックフェムト秒レーザー加工と呼ばれ、集光ビームの整形による面加工<sup>5)</sup>や3次元的一括加工<sup>6)</sup>が可能となる。

本稿では、そのような空間光変調技術を用いたフェムト秒レーザー加工について解説する。2章では、