

# レーザーアシスト $\mu$ -LAMプロセスが 赤外オプティクスを切り開く

ディーパク・ラビンドラ、サイ・クマール・コーデ、クリス・ストロシャイン

**赤外オプティクスやセラミクスなど、高硬度、低破壊韧性を持つ光学材料を直接加熱し熱的に軟化させることで、マイクロレーザーアシストダイヤモンド旋削は、材料除去率を高め、製造コストを削減する。**

幅広い材料、金属と合金、セラミクス、ガラス、半導体、複合材料を含め、これらは所定の形状、精度、仕上げ、表面完全性などサービス要件を満たすように製造される。金属と合金一般は、加工が容易である。高破壊韧性、低硬度、無指向性結合、低空隙率、破砕につながる大きなひずみ、高衝撃エネルギーのためである。一方、セラミクス、半導体、光学結晶および多くの赤外光学材料などの非金属は、共有結合またはイオン結合、塑性変形のためのリミテッドスリップシステム、高硬度、低破壊韧性を特徴としていることから、加工が一層困難になっている。

マイクロレーザーアシスト加工( $\mu$ -LAM)と呼ばれる新技術が、勢いづいている。対象となるのは、光学結晶、

シリコン(Si)、フッ化カルシウム( $\text{CaF}_2$ )、セレン化亜鉛(ZnSe)、ゲルマニウム(Ge)、硫化亜鉛(ZnS)を含むIR材料である。米マイクロラム社(Micro-LAM)で行われた材料研究からも明らかのように、 $\mu$ -LAM技術の価値提案に含まれるのは、光学結晶やIRオプティクス製造中の工具寿命の拡張、生産性増大、部品品質改善である。

## レーザーアシスト加工

$\mu$ -LAM技術は、チップの変形や生成帯で被加工材料を直接加熱し熱的に柔らかくする。これにより材料の展性が増す。材料の堅さが低下したことで向上した展性により、チップ形成が容易になり、脆弱さが低減し、最終的な材料除去率が高くなる。すべてが工具

性能向上と生産性向上につながり、さらに製造コスト低下になる。

$\mu$ -LAMプロセスによる光学グレードの結晶の加工性を検証するために、15 $\mu\text{m}$ の位置決め精度フィードバックシステムを持つダイヤモンド旋削超精密旋盤(UPL)で加工試験が行われた。そのようなUPLは、光学レンズ、光学金型インサートやミラー、小型高精度機械コンポーネントの製造用に設計されている。

分析のために、 $\mu$ -LAMシステムをUPLに搭載して、回折Siレンズを加工した(図1)。 $\mu$ -LAMシステムのツールポスト、Optimust<sub>T+1</sub>は、既存のツールポストを置き換え、組込み時間60分以下のボルトオンシステムである。レーザーコントロールはUPLに接続されているので、Mコードコマンドでそれをコントロールできる。

Optimust<sub>T+1</sub>は、光ファイバケーブルとコリメートレンズで1064nm YAGレーザーに結合されていた。ダイヤモンド工具は、レーザー波長に対して光学的に透明であり、ビームを工具の切断刃半径に正確に向ける集束レンズの役割を果たすように製造されている。これにより、材料の切断ゾーンだけが加熱され、柔らかくなる。

切込み深さ、横送り、切断速度およびレーザーパワーなどの加工パラメータを最適化した後、いくつかのSiレンズを作製し、表面仕上げ(粗さ)、表面美観(スポーク、脆弱帯)、形状精度もしくは不揃いトランス、工具寿命(製造された部品数に基づいて)、生産性



図1 超精密旋盤に組み込まれたOptimust<sub>T+1</sub>とレーザーコントロールステーション。現在のセットアップは、凸型Si回折レンズを加工する位置に設定されたシステムを示している。

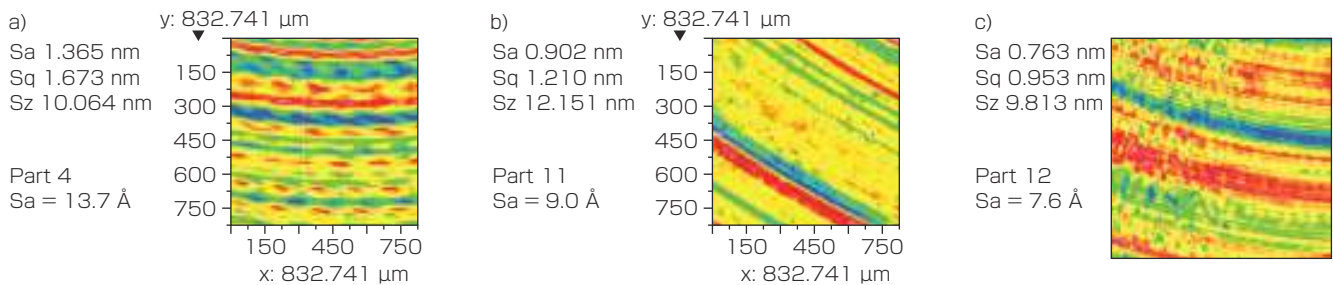


図2 シリコン回折レンズの連続加工したパート4(a)、11(b)、12(c)の表面粗さプロファイルを示している。

(生産性を高めるように加工パラメータを詰める)を評価した。

### 直接比較

光学グレードSiは一般にIRイメージングシステム用のレンズとして使用される。以前は、一般に加工がより容易(軟質)であることから、Geが好まれる材料だった。しかし、ゲルマニウムに対するシリコンの優位性はいくつかある。軽量、バルク材料が低コスト、優れた熱安定性と機械的特性、主に高硬度であること。

シリコンの硬度増は、使用時の部品不良を最小化するので好まれるが、それは加工を一段と難しくもする。シリコンの硬さと摩損性のためにダイヤモンド工具は急速に摩滅するので、成形品の品質が悪くなり、高い形状誤差が生ずる。 $\mu$ -LAMプロセスは、シリコンや他の光学結晶の加工で大きな利点を示した。 $\mu$ -LAMプロセスでは、一時的に加工対象を柔らかくする(硬さ

を弱める)ので、工具の摩耗が著しく少なくなる。

IR光学系に使用される直径50.4mmの一般的なシリコン回折レンズは、たとえば、周辺部不揃い許容値は0.5、表面粗さは<10nm Sa、表面品質60-40、スポークなし、グレイまたは脆弱帯なし。ここでの最重要課題は、0.5周辺部(<160nm)不揃い許容値を達成することで、これは保存状態のよい(摩耗していない)工具の刃先でしか達成できない。

標準ダイヤモンド旋盤と比べて、 $\mu$ -LAMプロセスは、表面粗さが3倍以上少なくなる優れたシリコン部品品質を達成するとともに、シングルシフトで作製できる部品数が4倍以上となり、生産性向上も可能にする(表1)。

工具寿命延長を実証するために、 $\mu$ -LAMプロセスを使ってたくさんのシリコン回折レンズを加工した。標準のガウシアン0.08mmフィルタを実装した白色干渉計を使って表面粗さと形状

誤差を分析した。留意すべきは、パートナンバーが加工された順番に一致していることである。たとえば、パート12は、工具が加工した12番目のパートである。

ランダムに選び、分析した3つのパート(ナンバー4、11、12)で、平均粗さ値は、1.368、1.105、0.805nm Saであった。すべてが<0.5フリッジ、スポークなし、またグレイもしくは脆弱バンドなしだった(図2)。パート4から12までの表面品質の維持は、 $\mu$ -LAMプロセス中に工具が劣化していないことを示している。

加工された表面美観の品質を分析するために、高輝度ファイバ光源とデジタルカメラを使って「スポーク」効果または裂け目の生成を見つけようとした。グループのパート18では、表面に損傷はまったく見られず、そのパートの美観は完璧である(図3)。

シリコンだけでなく、 $\mu$ -LAMプロ

表1 従来のダイヤモンド旋盤と $\mu$ -LAMプロセスを使ったSiレンズ製造の比較

プロセス	平均粗さ(Sa)	フォームエラー	機械部品までの時間	シフトごとのパーツ数
従来のダイヤモンド旋削	10 Å (1nm)	<0.75フリッジ	10分	8
$\mu$ -LAM	35 Å (3.5nm)	<0.50フリッジ	2.5分	35



図3 この写真は、シングル切断工具を使ったパート18の加工表面を示している。

表2 多くの光学材料と部品サイズで、生産性パフォーマンスと部品品質の比較データ

材料	部品直径	形状基準	粗さ基準	美観基準	工具当たりの部品数 (従来)	工具当たりの部品数 ( $\mu$ -LAM)
シリコン	90mm	<0.5 フリンジ	<100 Å	スポークなし、または脆弱なバンド	0	12
シリコン	90mm	<1.0 フリンジ	<100 Å	スポークなし、または脆弱なバンド	8	18
シリコン	40mm	<0.5 フリンジ	<100 Å	スポークなし、または脆弱なバンド	15	45
シリコン	140mm	<1.5 フリンジ	<150 Å	スポークなし、または脆弱なバンド	2	8
シリコン	240mm	<1.5 フリンジ	<200 Å	スポークなし、または脆弱なバンド	1	5
シリコン	363mm	<2.0 フリンジ	<200 Å	最小スポーク	0	3
ZnS	50.4mm	<1.0 フリンジ	<30 Å	最小またはかすみなし	4	18
ZnS	75mm	<1.0 フリンジ	<30 Å	最小またはかすみなし	3	13
CaF <sub>2</sub>	12.5mm	<0.5 フリンジ	<30 Å	スポーク、またはくぼみなし	0	18
CaF <sub>2</sub>	35mm	<0.5 フリンジ	<30 Å	スポーク、またはくぼみなし	0	12
CaF <sub>2</sub>	50.4mm	<0.75 フリンジ	<30 Å	スポーク、またはくぼみなし	0	10
ZnSe	50.4mm	<0.5 フリンジ	<25 Å	くぼみなし	4	11

セスは、他の結晶やIR材料の生産性も向上させる(表2)。 $\mu$ -LAMは実現技術でもあるので、従来のダイヤモンド旋盤だけを使った絶対に受け入れられないパーツと比較すると、高品質、大口径のシリコンオプティクスやあらゆるサイズのCaF<sub>2</sub>オプティクスを製造できるようにする。

### タングステンカーバイドのブレイクスルー

最近、 $\mu$ -LAM技術は、光学品質タングステンカーバイド(WC)の加工でかなりの画期的な進歩を遂げた。ここ

では、ダイヤモンド旋盤プロセスを使った。タングステンカーバイドは高温、高圧アプリケーション下で性能を発揮するのでガラス成形業界では好まれるが、WCは硬い材料(Siよりも3倍程度硬い)であるので、ダイヤモンド旋盤で光学品質面に加工することは成功していない。WC光学金型を造る現状の工程は、部品工程当たり根気強く3~4時間かけて研磨し磨く。

マイクロラム社は、 $\mu$ -LAM技術を組み込んだ工程を開発した。この技術では、レーザーアシストダイヤモンド旋削により光学品質のWC金型を作製す

ることができる。時間は、従来工程の数時間に対して、数分である。これら $\mu$ -LAM加工したレンズの品質も十分に基準仕様内であり、研磨のような後加工の必要性はない。

17mm径WC部品で、加工時間は90秒。これに求められるSa仕様<5nm部品で、 $\mu$ -LAMプロセスは、粗さ値2~2.5nmを達成した。

ペイバック8カ月足らずで、 $\mu$ -LAMシステムは多くのIR光学材料や結晶でその価値を証明している。生産性向上は最大500%、加工効率は最大200%向上、部品品質は改善される。 $\mu$ -LAMプロセスは、シリコンカーバイド(SiC)、サファイア、スピネル、ガラス、オプティクスや航空宇宙産業で使用される一部の選ばれた金属など、超硬質材料のためにも開発されている。

#### 著者紹介

ディーパク・ラビンドラはCEO、サイ・クマール・コーデは主任プロセスエンジニア、クリス・ストロシャインはグローバル販売マネージャー。全員マイクロラム社に所属。

e-mail: deepak.ravindra@micro-lam.com

URL: www.micro-lam.com

LPWJ

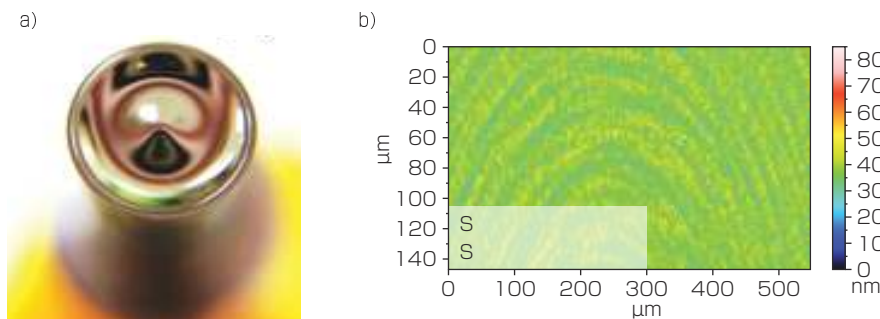


図4  $\mu$ -LAMプロセスで加工したタングステンカーバイド光学金型の凹型面画像(a)と表面粗さプロファイル(b)を示している。