

最先端レーザーマイクロ・ナノ加工とその応用

最先端レーザーマイクロ・ナノ加工とその応用技術調査専門委員会編

目		次	
1.	はじめに	3	
1.1	調査専門委員会設置の目的	3	
1.2	最先端レーザーマイクロ・ナノ加工とその産業 応用技術の動向についての調査結果概要	3	
2.	基礎・基盤分野	6	
2.1	超短パルスレーザー加工による 新しいナノ修飾技術	6	
2.2	レーザープラズマ軟 X 線による シリカガラスのアブレーション過程	9	
2.3	紫外パルスレーザーによるシリコンの 表面改質	12	
2.4	LIPPA による PDP 用透光性 電磁シールドフィルムの作製	16	
2.5	PLD によるセラミックス単結晶薄膜の 室温合成とナノ構造の構築および 工学的応用	19	
2.6	紫外パルスレーザー照射によるガラス表面 への光触媒能を有する TiO ₂ 構造の形成	23	
2.7	レーザー誘起背面湿式加工法(LIBWE) による石英ガラスの微細加工	25	
3.	バイオ・医療分野	31	
3.1	ソフトマテリアルのレーザープロセス・ 操作・計測	31	
3.2	自由電子レーザー転写法による バイオマテリアルのマーキング	33	
3.3	フェムト秒レーザーによる細胞操作	38	
3.4	眼科治療分野へのレーザー応用	41	
4.	産業応用分野	49	
4.1	レーザー生成プラズマ EUV 光源	49	
4.2	レーザー加工におけるスループット向上 —孔開けを例にあげて—	55	
4.3	炭酸ガスレーザーによるガラス端面の加工	57	
5.	あとがき	62	

最先端レーザーマイクロ・ナノ加工とその応用技術調査専門委員会委員

委員長	新納 弘之(産業技術総合研)	委員	中山 明(大阪科学技術センタ)
幹事	大越 昌幸(防衛大学校)		西尾 悟(立命館大学)
	中田 芳樹(大阪大学)		林 健一((株)ニデック)
	若林 直木((株)住友重機械工業)		日野 敦司(日東電工(株))
委員	伊藤 義郎(長岡技術科学大学)		平野 嘉仁(三菱電機(株))
	猪狩 俊一(三菱マテリアル(株))		堀田 和明(ウシオ電機(株))
	岡田 龍雄(九州大学)		牧村 哲也(筑波大学)
	北原 正(浜松ホトニクス(株))		森本 章治(金沢大学)
	佐藤 行雄(三菱電機(株))		山田 典章((株)日本製鋼所)
	杉岡 幸次(理化学研究所)		山田 由佳(松下電器産業(株))
	鈴木 薫(日本大学)		吉本 護(東京工業大学)
	坪井 泰之(北海道大学)		鷲尾 邦彦(ハラクタイムレーザーリサーチ)

主な協力者

細川 陽一郎(奈良先端大)	尼子 淳(セイコーエプソン(株))
奈良崎 愛子(産業技術総合研)	中村 大輔(九州大学)

1. はじめに

1.1 調査専門委員会設置の目的

レーザプロセッシングによる材料の精密微細加工，高機能薄膜形成，量子機能発現ナノ粒子合成，およびそのメカニズムやダイナミクスの研究は国内外で活発に進められている。我が国の研究レベルは，北米や欧州と並んで質・量ともに世界トップレベルにあるが，特徴的なことは，大学・研究所において学術的な研究が進められているだけでなく，産業界においても実用化に向けた研究開発が進められており，基礎・基盤分野だけでなく産業応用を指向する取り組みが並行して進展しているところである。とくに，近年，フェムト秒超短パルスレーザや半導体励起全固体レーザなどの新しい光源の高性能化によって，レーザマイクロ・ナノ加工研究に新たな展開がもたらされている。フェムト秒レーザは，加工部周囲に熱的影響が抑制された微細加工が可能であることを示し，透明材料への多光子吸収を利用することによって材料内部に三次元ナノ加工が行えることが明らかになった。また，レーザビームの優れた単一モード特性は高度に設計された回折光学素子と組み合わせることで，多光束可干渉法による高性能分枝ビームや微細パターンビーム化を容易に使うことができるようになり，高スループット加工や精密ナノ加工に新局面を提供している。これらの学術的な成果は，情報家電やIT等の先端的産業分野のキー技術になりえるもので，高度部材製造を支える重要基盤技術として産業競争力の向上に貢献することから，今後の発展が大いに期待されている。

一方，レーザプロセッシングが従来研究対象としてきた金属・半導体・ポリマー材料だけでなく，細胞・遺伝子・蛋白質などへのレーザプロセッシングが進展し，バイオ分野におけるレーザ利用のさらなる有用性が明らかにされつつある。人々の健康と安全を守り，日々の生活に安心と活力を提供する新技術としての位置付けが期待されている。

そこで，発展著しい国内外の最新・最先端のレーザマイクロ・ナノ加工の研究動向を調査することによって，次世代の産業応用に有用なレーザプロセッシング技術を洗い出し，それらの技術を啓蒙・普及させることによって学界および産業界に貢献することを目的に，本委員会はC部門光・量子デバイス技術委員会の下に平成17年12月に設置された。

平成20年11月までの3ヵ年におわり，学界および産業界における気鋭の研究者・技術者24名から構成されて本委員会は活動した。合計12回の委員会において綿密な調査を行うとともに，これまでに成果発信として光・量子デバイス研究会（3回，レーザ学会との共催）ならびにC部門大会企画セッション（2回：2006年横浜「TC2 最先端レーザマイクロ・ナノ加工」，2008年函館「TC8 レーザマイクロ・ナノ加工とその産業応用の最前線」）を開催した。本報告書では，委員会での調査に基づき，国内外の当該学術分野の進展，ならびにその産業応用動向について報告する。

1.2 最先端レーザマイクロ・ナノ加工とその産業応用技術の動向についての調査結果概要

本調査専門委員会の主要調査検討項目として，

- (1) 国内外の最新レーザマイクロ・ナノ加工の研究・開発動向を調査，評価する。
- (2) バイオ分野におけるレーザ利用研究や応用技術を調査，評価する。
- (3) 既存のレーザプロセッシング研究を調査し，その問題点を明らかにする。
- (4) 新しいレーザ光源を調査し，そのプロセッシング利用用途を明確にする。

を掲げ，学術・技術情報の収集および調査を行なった。

1.2.1 レーザマイクロ・ナノ加工の研究開発動向調査

(1) 国内外の最新レーザマイクロ・ナノ加工の研究開発動向の調査

フェムト秒レーザなどの最新光源を用いた，各種の先端機能材料レーザプロセッシングの研究動向に注意を払い，詳細な調査を行った。具体的には，

- ・フェムト秒レーザによる透明固体材料の内部加工
- ・フェムト秒レーザによるガラス内部3次元加工とマイクロTASへの応用
- ・フェムト秒レーザによるポリシラン膜の形成
- ・フェムト秒レーザを用いた同位体生成
- ・フェムト秒レーザ誘起表面周期構造の金属インプラントへの応用
- ・フェムト秒パルスによるステンレス加工中のデブリ挙動の可視化
- ・レーザ衝撃エネルギーを利用した高圧非平衡物質創製
- ・LIPAAプロセスの開発
- ・LIBWEプロセスの開発
- ・レーザプラズマ軟X線による石英ガラスのナノ加工
- ・電子線照射レーザアブレーション成膜法
- ・ナノ微粒子支援レーザ堆積法によるZnOナノワイヤ作製法
- ・LaNiO₃材料やワイドギャップ半導体LaOCuS/ZnOのPLD法による薄膜形成
- ・エキシマレーザを用いた化学溶液法による機能性酸化化合物薄膜の製造法
- ・液中レーザアブレーションの機構解明
- ・酸化物自己組織化構造を利用したナノインプリント技術
- ・ヒートモードリソグラフィーによるZnS-SiO₂のナノスケール加工
- ・レーザ熱リソグラフィー法によるナノ微細加工技術
- ・パルスレーザ照射によるガラスと金属の直接接合
- ・レーザで駆動するディスプレイブルインクジェットヘッド作製法
- ・3次元フォトニック結晶のテラヘルツ応用

等について調査した。また，国内で開催された国際会議