

サブテーマ名：高輝度Yb:YAG固体レーザー技術に関する研究 小テーマ名：Yb:YAGレーザーの性能評価
サブテーマリーダー（所属、役職、氏名）分子科学研究所 助教授 平等拓範 研究従事者（所属、役職、氏名）大阪大学 教授 片岡俊彦
研究の概要、新規性及び目標 研究の概要 試作された新型レーザーの実用化の可否について判断するため、ナノ加工への応用を念頭に置き、それを遂行する上でレーザーの具備すべき性能を探索する。同時に、その結果を高輝度Yb:YAG固体レーザー開発のための技術支援として役立てる。具体的には、市販されているフェムト秒チタンサファイヤレーザーによる多光子吸収を利用して、光硬化性樹脂を原料にナノ構造を持つ微小物体の作製を試みる。本研究では近年進展の著しい近接場光学顕微鏡（SNOM）の高分解能プローブの作製をその対象とする。 研究の独自性・新規性 ナノ加工は、近接場光学顕微鏡や光記録装置、更にはフォトリソグラフィなど、近接場光学の分野において重要な技術となってきた。この加工法は、光を用いているために電子ビームやイオンビームを用いた加工法と異なり、対象物のチャージアップを気にする必要がない。特に、誘電体を対象とする場合にはその特徴が威力を発揮することになるので、光学デバイスの作製には最適な方法である。多光子吸収によるナノ加工についてはいくつかの実施例が報告されているが、従来から我々が開発してきた微小突起型プローブによる近接場光学顕微鏡に関しては国内特許も有しており、本方法により顕微鏡としての分解能をより高くすることができれば、更なる独自性や新規性を発揮できるものと考えている。 研究の目標（フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に） フェーズ Ⅰ： フェーズ Ⅱ： 「高輝度Yb:YAG固体レーザー技術」に関する研究の一環として、高出力・超短パルスレーザーシステムおよび高出力・高ビーム品質CWレーザーに必要な評価を行う。そのためにチタンサファイヤレーザーを用いた多光子吸収ナノ加工を実施する。その際、加工単位を目標値 100 nm と設定し、これを達成するために新型レーザーが具備すべき性能を明らかにする。 フェーズ Ⅲ： 研究成果の実用化を目指す。
研究の進め方及び進捗状況（目標と対比して） フェーズ Ⅰ： フェーズ Ⅱ： フェムト秒チタンサファイヤレーザーによるナノ加工装置を完成させ、ネガ型紫外線硬化樹脂を用いることにより 100 % の成功率で直径 500 nm のドットを作製することができるようになった。 フェーズ Ⅲ： 研究成果の実用化を目的として、これまで得られた研究成果をベースに残された研究課題の解決を図る。
主な成果 具体的な成果内容： (1) 紫外線硬化性樹脂（JSR 社製、SCR 9100）を用いたナノ加工 ダイオード励起固体可視レーザーをポンプ光としたフェムト秒チタンサファイヤレーザーを用いて微細構造物を作製することから始めた。光硬化性樹脂を液滴としてカバーガラス面に付着させ、レーザー光をガラスの側から入射し、油浸100倍対物レンズによりガラスと樹脂の界面に集光させた。多光子吸収が光のエネルギー密度の高い部分でしか起こらないことを利用して集光部中央の極微小領域のみで光化学反応を起こさせた。その際、光照射の時間が長いと、発熱による温度上昇が起こり、爆発的な化学反応を引き起こすことが判明したので、これを防止するために、1回の光照射後に冷却時間を取ることでできるPC制御光照射装置を試作した。これにより極力熱反応を抑えた多光子吸収のみによる化学反応を起こさせ、光硬化性樹脂から大きさ2μmの立方体の中に微細構造物を作製することができた。（図1） (2) フォトリソグレイ（MICRO CHEM 社製、SU-8 2002）を用いたナノ加工

前項で示した光硬化性樹脂を用いた方法では、最初に作ったドットに隣接して次のドットを作ることができず、3次元構造を実現することができなかった。その理由は、この光硬化性樹脂は液体状の時には波長 770 nm のレーザを吸収しないが、それが多光子反応によって固化した後はかなりの吸収を生じ、アブレーションを起こすことが判ったからである。そこで、この樹脂に代わって化学反応が起こっても吸収率の変化しないネガ型フォトレジストを用いることにした。この材料は光を照射する前に熱処理により乾燥させる必要があり、液体状ではなく、固体状で使用するため、レジスト表面からのレーザ光の散乱という問題が生じたが、その表面に屈折率整合液を滴下することによって解決した。これにより安定してドットを形成することが可能になり、現在は、500 nm のドットを 100 % の成功率で作製できるようになった。(図2)

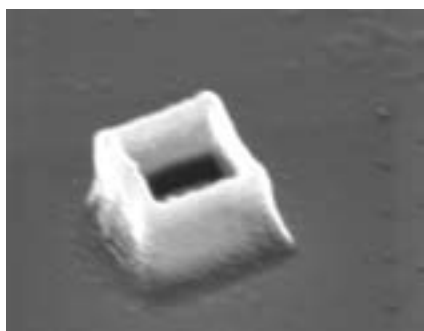


図1 一辺 2 μm の角パイプ

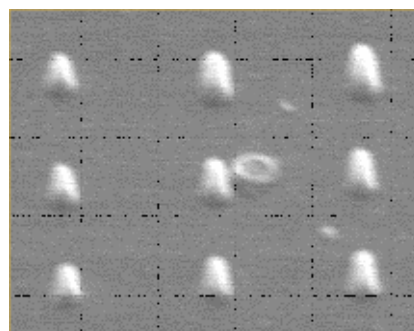


図2 直径 500 nm のドット

特許件数： 0 論文数： 0 口頭発表件数： 0

研究成果に関する評価

1 国内外における水準との対比

最後に用いたフォトレジストによるドットの作製はフォトニック結晶を対象として国内で実施されているが、その大きさは 1 μm 程度に留まっている。本研究の場合は、すでに 500 nm を達成しており、レーザ強度を下げることにによりさらに小さくできることを考えれば、評価に値する。

2 実用化に向けた波及効果

ナノ加工を目的とした短パルスレーザには、(1) 空間的には、小さく絞れるようにレーザビームの質をよくすること、(2) 時間的には、パルス間隔を任意に変えることができること、の2つ特性が必要であることが判った。

残された課題と対応方針について

近接場光学顕微鏡のプロープ作製には至っていないので、さらに小さな径のドット作製を行い、プロープを完成させる予定である。

	J S T負担分(千円)							地域負担分(千円)							合 計
	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	H 12	H 13	H 14	H 15	H 16	H 17	小計	
人件費	0	0	0	192	208	163	563	0	0	0	0	0	0	0	563
設備費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他研究費 (消耗品費、 材料費等)	0	0	0	1,000	1,500	1,200	3,700	0	0	0	0	0	0	0	3,700
旅費	0	0	0	17	17	10	44	0	0	0	0	0	0	0	44
その他	0	0	0	9	57	37	103	0	0	0	0	0	0	0	103
小 計	0	0	0	1,218	1,782	1,410	4,410	0	0	0	0	0	0	0	4,410

代表的な設備名と仕様〔既存(事業開始前)の設備含む〕

J S T負担による設備：なし

地域負担による設備：なし

複数の研究課題に共通した経費については按分する