

学位論文 博士（工学）

ミー散乱近接場光の空間・増強度制御による
フェムト秒レーザナノパターンニング

2011 年度

慶應義塾大学大学院理工学研究科

田中 悠人

主 論 文 要 旨

報告番号	甲 第 号	氏 名	田中 悠人
主論文題目： ミー散乱近接場光の空間・増強度制御によるフェムト秒レーザナノパターンニング			
(内容の要旨) 現在、光学、電子光学、医学、生物物理学、機械工学の分野で、簡単で高いスループットのナノプロセッシング技術が希求されている。最近、増強局在近接場光をナノアブレーションプロセッシングに用いる研究が端緒についている。近接場光の発生の基礎物理は光の散乱理論に基づくもので、その起源は1800年代後半に遡る。本研究は、フェムト秒レーザを用いたナノアブレーション過程において、1908年にGustav Mieが発表したミー散乱理論に基づいて散乱近接場光の空間・増強度制御を行うことで、近接場ナノアブレーションパターンニングのプロセスパラメータの基礎を明らかにすることを目的としている。本論文の著者は前記の目的を達成するために、励起レーザの新しいパラメータを最適化する手法、および高強度近接場光を発生する新しい散乱媒質を適用する手法を提案した。パラメータ最適化に関しては、“ナノ金属レンズ”として金属微小球を用いるプロセッシング技術において、加工基板材料の光学特性を考慮した励起レーザの波長最適化手法を提案した。一方、新しい散乱媒質に関しては、光波領域で高屈折率の誘電体微小球を用いるプロセッシング技術を提案した。更に、新しい散乱構造体としてナノホールテンプレートを使用することで、ナノ構造の新規プロセッシング技術を提案した。 本論文は6章で構成されている。 第1章は序論である。近接場光を利用した様々な応用研究および近接場光ナノプロセッシングの研究の動向について述べる。最後に、本研究の目的を述べる。 第2章では、ミー散乱理論に基づく近接場光の発生原理とフェムト秒レーザによるアブレーションプロセッシングの原理について説明する。 第3章では、金属微小球を用いた近接場光ナノホールプロセッシングにおいて、加工基板材料の屈折率を考慮した最適な波長選択による近接場光増強効果の解析結果について述べる。そして、基板表面上に金属微小球を配置した系と、高屈折率誘電体微小球を配置した系の近接場光増強特性の比較検討結果について述べる。 第4章では、高屈折率の誘電体微小球を用いた系のナノホールパターンニングの結果について述べる。同じ直径の誘電体球の中で最大光増強度および最小径に近い集光径が得られる共鳴ミー散乱誘電体球を選択した。金属球の単一微小球および二次元配列微小球アレーを用いるナノホールパターンニングにおける技術的課題の解決する新規手法として、高屈折率誘電体球を使用する方法は有用であることを実証した。 第5章では、近接場光を発生させる新しい散乱構造体としてナノホールテンプレートを用いて、金属のナノ突起およびナノ粒子構造を作製する技術について述べる。著者が提案した技術によって励起レーザ波長の回折限界以下の直径および周期のナノ突起アレーが大面積に一括作製できた。 第6章は、本研究の結論であり、本研究で得られた成果を総括し、今後の展望について述べる。			

SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number 81046015	SURNAME, First name TANAKA, Yuto
Title Femtosecond laser nanopatterning by controlling the local-field intensity and spatial distribution of Mie scattering		
Abstract <p>High-throughput nanoprocessing technology with simple procedures is necessary for the cutting-edge technology in optics, electro-optics, medical science, biophysics and mechanics. In recent years, nanoablation processing has been developed by using the enhanced near-field light. The basic physics of near-field light generation is explained based on the light scattering theory since the late 1800s. In this research, the author of this dissertation aims at the elucidation of key processing parameters of near-field nanopatterning by controlling the near-field intensity and its spatial distribution based on the Mie scattering theory introduced by Gustav Mie in 1908. The author proposed the optimization of a new incident light parameter and selection of new scatterers generating high intensity near-field for achieving the goal of the research. As for a new optimization method for incident light parameters, the author suggested the selection of optimal wavelength for plasmonic processing with a gold sphere by taking into account the refractive index of the substrate. The author proposed the application of high dielectric constant spheres as new scatterers instead of metallic sphere. Furthermore, the author brought up an idea of new nanostructure fabrication at the sub-diffraction-limited scale by applying a nanohole template.</p> <p>This dissertation consists of six chapters.</p> <p>Chapter 1 is introduction. It describes the research background of various applications and nanoprocessing with near-field nanophotonics. The objective of the study is stated in this chapter.</p> <p>Chapter 2 explains the numerical analysis of near-field light based on the Mie theory and fundamental physics of femtosecond laser ablation.</p> <p>Chapter 3 describes the results of selection of optimal excitation wavelength for plasmonic patterning by taking into account the refractive index of the used substrate material. The comparative study of near-field enhancement between metallic sphere and dielectric sphere with high refractive index on the substrate is also presented.</p> <p>Chapter 4 presents the demonstration of nanohole patterning using dielectric spheres with high refractive index. A resonant Mie scattering sphere was selected for obtaining the maximal intensity enhancement factor of the near field and nearly smallest spot diameter. It is revealed that the application of spheres with high dielectric constants is a smart method for solving the technical constraint imposed by metallic spheres in the single sphere and sphere array system.</p> <p>Chapter 5 presents the nanohole template assisted nanopatterning method to fabricate metallic nanoneedles and nanoprotrusion at the sub-diffraction-limited scale. The proposed method demonstrated the fabrication of the nanostructures with diameter and periodicity both at the sub-diffraction-limited scale on the large area surface.</p> <p>Chapter 6 is the conclusions of the dissertation. It also presents the prospects of this study.</p>		