

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2013

課題番号：25630018

研究課題名(和文) 動的局在光場並列制御によるセルインマイクロファクトリに関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental research on cell-in-micro-factory based on active parallel controlling of localized light energy

研究代表者

高橋 哲 (Takahashi, Satoru)

東京大学・工学系研究科・教授

研究者番号：30283724

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本申請研究においては、デスクトップサイズに小型化されたマイクロファクトリ概念をさらに拡張し、マイクロメートルスケール部品への加工・アセンブリシステムを実現する超小型工場(セルインマイクロファクトリ)を提案した。これは、数 μm から数 $10\mu\text{m}$ 程度のマイクロ機能部品・デバイスを自律的に製造可能な数 mm から数 10mm 程度の微小セル自体を生産ライン工場と見立てるものである。特に本研究では、微小母材のハンドリングや加工時に必要となる主供給エネルギー種として、遠隔制御性・並列処理性に優れた光エネルギーを適用することを考え、実際に基礎実験装置を試作し、提案コンセプトの検証を行った。

研究成果の概要(英文)：A micro-factory system, with which a micro based material can be directly handled, processed, assembled for next generation micro-manufacturing, is strongly required. In order to meet this request, we propose "Cell-in-Micro-Factory System", which processes and fabricates microstructures in a micro cell. In this study, we applied light energy to main supplied energy for micro-factory and tried to confirm its basic concept. We developed a basic "Cell-in-Micro-Factory System" based on laser trapping technology. Our experimental analyses verified the basic feasibility of this proposed concept.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学, 生産工学・加工学

キーワード：マイクロファクトリ 微小生産科学 マイクロマシン

1. 研究開始当初の背景

精密機能デバイスの代表例である半導体デバイスにおいて直径 450mm のシリコンウエハ基板の適用が間近に迫っているなど、今日、精密機能デバイスの小型化・高集積化とともに、生産・製造システムの巨大化が進み、製品サイズと生産システムサイズの乖離がますます増大している。このような背景の中、省エネルギー、省スペースの観点に加え、多品種少量生産への適性も考慮された、小型化生産システム(マイクロファクトリ)が注目を浴びている。このマイクロファクトリ概念に基づき、デスクトップ型のマイクロファクトリが、日本の産総研を中心に提唱され、ドイツ、米国、韓国、シンガポールを中心に活発に開発が進められている[1-3]。

一方、従来のモノづくりにおいては、製造製品の基本的な特性として、人が把持して利用することが前提となっているが、次世代においては、従来のこの基本的特性を有さない製品群、すなわち全体サイズがマイクロメートルスケールの微小製造製品といった、人による把持を前提としないマイクロ機能デバイスの量産も期待される。

【参考文献】

- [1] Y Okazaki et.al.: Microfactory-Concept, History, and Developments, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 126, (2004), p.p.837-844.
- [2] A. Caballero-Ruiz: First generation micro-machine tool characterization, Proc. of ASPE Annual Meetings (2001) 325-328.
- [3] N. Kawasegi et.al: Development of 3D nano-machining and measuring system, JAIST Int. Sympo. Nano Technology (2003) 102.

2. 研究の目的

1章の背景のもと、本申請研究においては、デスクトップサイズに小型化されたマイクロファクトリ概念をさらに拡張し、マイクロメートルスケール部品への加工・アセンブリシステムを実現する超小型工場(セルインマイクロファクトリ)を提案する。

図1に提案するセルインマイクロファクトリの概念図を示す。これは、数 μm から数 $10\mu\text{m}$ 程度のマイクロ機能部品・デバイスを自律的に製造可能な数 mm から数 10mm 程度の微小セル自体を生産ライン工場と見立てるものである。特に本研究では、微小母材のハンドリングや加工時に必要となる主供給エネルギー種として、遠隔制御性・並列処理性に優れた光エネルギーを適用することを考え、セルインマイクロファクトリ実現のための、要素技術を整理するとともに、実際に基礎実験装置を試作し、提案コンセプトの検証を試みる。具体的には、マイクロ機能デバイスの基本要素部品として期待されるマイクロビーズを対象とし、生産ラインにおけ

る最も重要なプロセスとなる部品搬送、アセンブリに焦点を絞り、光エネルギー制御での提案コンセプト実現性について実験的に検討を行った。

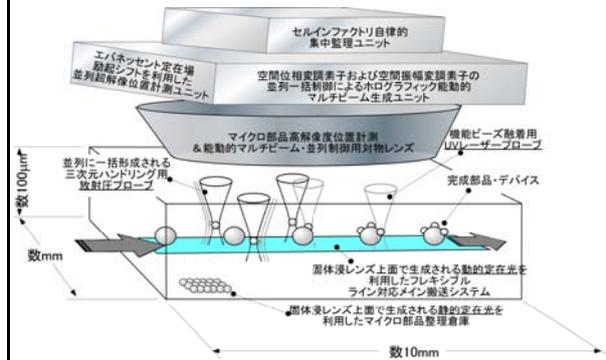


図 1. 光エネルギーを主供給エネルギーとするセルインマイクロファクトリ概念図

3. 研究の方法

人による把持を前提としないマイクロ機能部品の例として、本研究においては、マイクロビーズを基本形状要素と考えた。その理由としては、マイクロビーズには、磁性マイクロ粒子、透明マイクロ粒子、蛍光マイクロ粒子、光熱変換マイクロ粒子、光触媒マイクロ粒子といった直接機能発現に関わるバリエーションに富んだ材質のマイクロビーズが入手可能なこと、比較的、広範な粒径範囲のマイクロ粒子の入手が可能なこと、物理的対称性の高い球形形状形成が比較的容易なこと(これは将来的な製造デバイス歩留まりに好影響が期待できる)等が挙げられる。すなわちマイクロビーズを基本要素部品とした場合、搬送、アセンブリプロセスといった比較的シンプルなプロセスの組合せによって、微小構造による機能発現に加え、材料組合せによる機能発現を有する精密機能デバイスが期待される。図2はマイクロビーズを微小要素部品としたマイクロ機能デバイスイメージである。(a)はレーザートラップによる把持を前提としたナノ加工工具で、レジストやバイオ材料などのソフトマテリアルを光触媒反応により微小除去加工するものである。(b)はマイクロビーズにフレームを融合させたマイクロ部品搬送ユニットである。

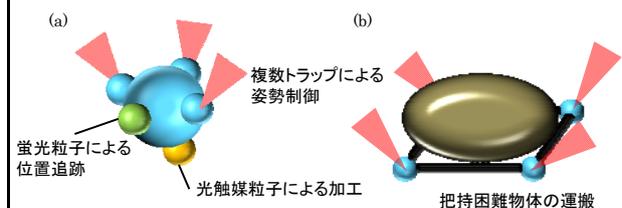


図 2. マイクロビーズを微小形状要素としたマイクロ機能デバイスイメージ (a)ナノ加工工具, (b)マイクロ部品搬送ユニット

本研究においては、提案セルインマイクロファクトリコンセプトを検証する上で、最も重要と思われるマイクロビーズの把持、アセンブリについて、光エネルギー適用により、実現が可能であるかを、実験的に検証することとした。すなわち、大きく以下の二つの項目を推進した。

(1) 把持用、アセンブリ接着用等の複数の波長に対応した複数のレーザーをセル内において独立に集光制御でき、またセル内をインプロセス顕微観察可能な、セルインマイクロファクトリ基礎概念検証装置を設計、試作する。

(2) (1) で試作したセルインマイクロファクトリ基礎概念検証装置を用いて、マイクロ機能部品とみなした粒径 $10\mu\text{m}$ のシリカ粒子をレーザートラップ技術(図3)により三次元ハンドリング搬送し、別粒子へのアセンブリ方法を検討する。

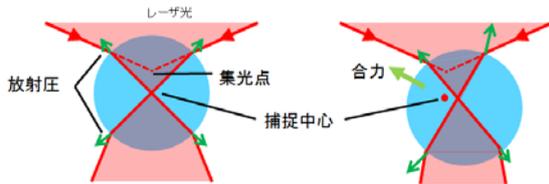


図3. レーザートラップによるマイクロビーズの把持

4. 研究成果

以下の研究成果を得た。

(1) セルインマイクロファクトリ基礎概念検証装置を設計、試作：

図4に装置模式図を示す。本装置は、主にレーザートラップ用光学系、アセンブリ固定用光学系、マイクロ生産ライン工場に相当するマイクロセル(直径 20mm 、高さ $100\mu\text{m}$ の液相を保持)、ステージシステムから構成される。

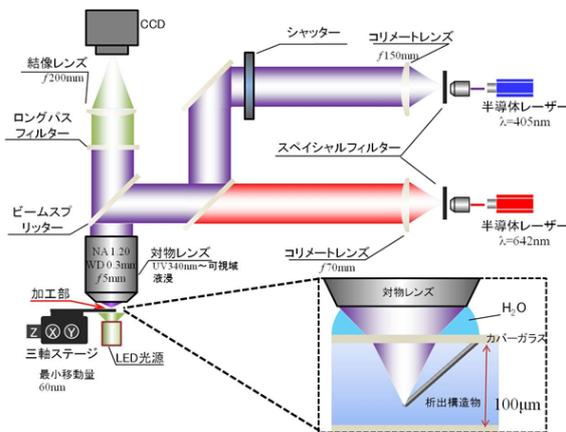


図4. セルインマイクロファクトリ基礎概念検証装置の模式図

アセンブリ固定においては、酸化チタン光触媒ナノ粒子の光学励起による金属イオン還元作用で生じる析出金属原子をバインダとして利用することを検討した。そのためアセンブリ固定用光源として、同励起で実績のある波長 405nm 半導体レーザーを適用した。対してレーザートラップ用光源としては、酸化チタンを励起しない波長 642nm の半導体レーザーを用いた。三軸ステージシステムに設置した液相セルを三次元的に駆動することにより、ビーム集光スポットを、マイクロセル内に相対的に走査することが可能な構成とした。集光スポットを形成させる対物レンズは、開口数1.2の水浸タイプを適用し、マイクロセル上面のガラス厚を補償可能な調整機構を有するものを採用した。図5に実際に試作した装置の写真を示す。



図5. 試作装置の写真

(2) セルインマイクロファクトリ基礎概念実証実験：

様々な液相環境において、実験を繰り返し、最終的に、以下に示す方法によって、レーザートラップ制御粒子の適切なアセンブリを実現することができた。具体的な実験条件例を以下に示す。液相：アンモニア水溶液 $10\text{wt}\%$ $400\mu\text{l}$ 、硝酸銀水溶液 0.1mol/l $40\mu\text{l}$ 、酸化チタンナノ粒子(結晶型：ブルックライト)一次粒径 10nm 、NTB-1 $15\text{wt}\%$ $20\mu\text{l}$ 、光源：レーザートラップ用 642nm 波長 13mW 、光触媒励起用 405nm 1.2mW 。この実験で用いた液相は、還元金属バインダとして硝酸銀水溶液内の銀イオンを採用していることに相当する。ここでは、光触媒ナノ粒子の分散性を高めるアルカリ性環境を維持しながらも、銀を錯イオンとして保持するためにアンモニア溶媒を付加したものとなっている。

図6は $10\mu\text{m}$ シリカ粒子を対象としたレーザートラップ搬送時のインプロセス顕微観察像の一例である。放射圧により位置的にトラップしたシリカ粒子に対して、ステージ駆動でアセンブリ対象の別粒子を接近させている。

図7は、接近後、酸化チタンナノ粒子光触媒励起光源を両粒子接触部に照射することで銀イオンの還元を行い、析出銀により両者を固着している様子である。図8は同時に三粒子をアセンブリした際の様子である。これらアセンブリ固着粒子は、同様のレーザートラ

ップにより固着状態を維持したまま搬送可能であることも確認された。

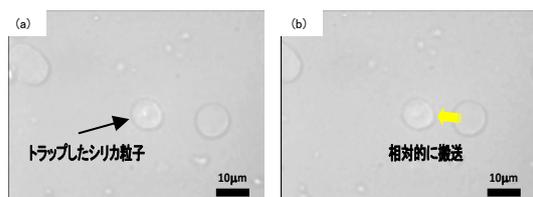


図 6. レーザトラップによるシリカ粒子の搬送(直径10µm)

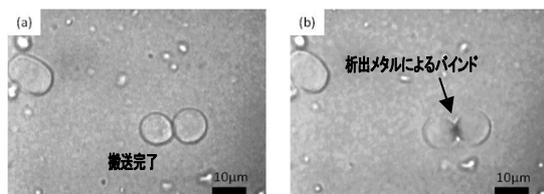


図 7. 光触媒励起による析出銀をバインダとしたシリカ粒子のアセンブリ

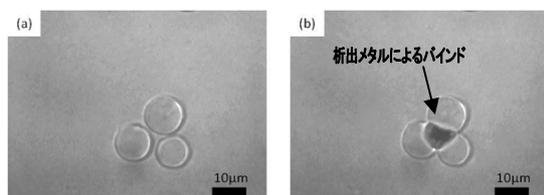


図 8. 三粒子の同時アセンブリ例

図 9 は、この金属銀析出法により所望のマイクロビーズ間を架橋している様子である。これは三次元液相内においてスポット走査箇所にて逐次的に銀析出を繰り返すことでフレーム構造が創製出来るため(図 10)である。この現象を利用することによりマイクロビーズ同士をフレームを介して接続可能である。これはマイクロビーズを端点にもつ三次元マクロフレーム構造を創製可能であることを示唆している。

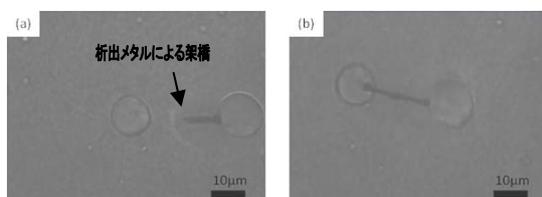


図 9. シリカ粒子間の架橋も可能

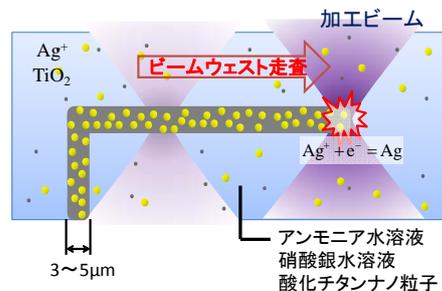


図 10. 析出銀による架橋メカニズム

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 門屋祥太郎, 吉越久倫, 高橋哲, 高増潔: 光触媒反応を用いた微細機能ビーズの創製に関する研究, 2014 年度精密工学会春季大会 学術講演会 講演論文集, 2014. 3. 19, 東京
- ② 吉越久倫, 門屋祥太郎, 高橋哲, 高増潔: 光職場ナノ粒子を用いた 3 次元微細構造創製に関する研究 (第 3 報) —FDTD 法を用いた電磁波機能素子への応用可能性の検討—, 2014 年度精密工学会春季大会 学術講演会 講演論文集, 2014. 3. 19, 東京

ホームページ等

<http://www.nanolab.t.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 哲 (TAKAHASHI SATORU)

東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 30283724

(2) 研究分担者

高増 潔 (TAKAMASU KIYOSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 70154896

(3) 連携研究者

()

研究者番号: