



Doctoral Thesis

Transportation and manipulation of particles by an AC electric field

Author(s):

Moesner, Felix Michael

Publication Date:

1996

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001730128> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 11961

Transportation and Manipulation of Particles by an AC Electric Field

Dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
ETH ZÜRICH
for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Felix Michael Moesner
Dipl. El.-Ing. ETH
born February 5th, 1967
citizen of Wolfhalden, Switzerland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Gerhard Schweitzer, examiner
Prof. Dr. Toshiro Higuchi, co-examiner

1996

Abstract

Current research in the field of particle micromanipulation demands high skills from a series of feasible techniques designed for many applications in our modern technological world. The delicate task of micromanipulation quite often reaches limitations when changing the suspension medium, increasing the manipulation rate, raising the positioning precision or exchanging particles with those of other properties. Some micromanipulation methods are even prepared for automated processes, while others are completely unsuitable.

In this thesis, a method based on time-varying electric fields is employed for the task of particle micromanipulation that comprises an interesting alternative to conventional techniques; since it can actuate individual or collective particle formations, permits high implementation flexibility, enables easy adaptation to various environments and offers a platform for later automation. Present work is focusing on the realization

of particle micromanipulation systems incorporating boundary-guided actuation of fine particulate objects by means of electric field waves which act as contactless conveyor, instantly generating particle driving forces. To realize such systems, the various needs of particle transportation and manipulations are introduced and exemplified in the design and fabrication of three quite dissimilar *microconveyors* (expression for *particle manipulation electric devices*), each for a different task. As a first device, the *electric panel* permits collective particle conveyance, gathering, dispersing and sorting on its plane surface. The second device, the *electric tube*, is a tool for pure mass transportation of particles from a feeding container to a target location, while the third device, the *electric dots*, allows both collective and individual micromanipulation of particles above an electrode matrix.

In broad strokes, traveling electric waves are created around slim equidistant electrodes through application of time-varying, balanced, multi-phase high voltages of < 1 kV amplitude. The non-uniform electric field (< 57 kV/cm @ < 100 Hz) is transiently altering and progressing in sync with the applied voltage phase. Particles, insulated by an inherent thin film above the electrodes become triboelectrically charged when non-conductive and induction charged when conductive, upon the activation of the electrodes. Dynamic forces of the electric field act against adhesion and gravitational forces of charged particles and actuate them in a plane perpendicular to the electrodes in a stepwise fashion from electrode to electrode with the propagation speed of the wave.

Authentic dimension scaled simulations of potential on activated microconveyors are successfully confirmed by analogous charge distribution measurements in high vacuum (@ 1.0 Pa) of a modified scanning electron microscope. In ambient atmospheric and liquid media, particle dynamics are directly captured by a high speed camera (frame rate @ 4.5 kHz) revealing the efficiency of particle actuation smoothing techniques. These original methods include *tracked particle conveyance* and customized phase voltage profiles stimulating excellent particle actuation required for micromanipulation. Further, particle property-triggered conveyance capabilities are demonstrated by examining a selection (< 80) of both conducting and non-conducting heterogeneous particle substances.

Since these multi-environment microconveyors involve no moving machine parts, the forces of the electric field can reduce overall energy

consumption. Further, the extensibility of transportation and manipulation area is virtually limitless. Thus, it is expected that the AC electric field methods described in this thesis will lead to new applications in various fields, such as parts feeders and manipulators for micro electro mechanical systems (MEMS). In the high frequency domain (> 1 MHz), these non-contact conveyor techniques promise to contribute to precise and efficient biological particulate manipulation needed in biomedical science and engineering.

Kurzfassung

Die heutige Forschung auf dem Gebiete der Mikromanipulation kleinster Teilchen stellt hohe Anforderungen an eine Reihe bekannter Techniken, die für zahlreiche Anwendungen unserer modernen Technologieumgebung entwickelt wurden. Die Mikromanipulation ist eine anspruchsvolle Aufgabe, die nicht selten an ihre Grenzen stößt; sei es durch Änderung des Umgebungsmediums, Erhöhung der Manipulationsrate, Steigerung der Positioniergenauigkeit oder Austausch der Teilchen durch solche, die andere physikalische Eigenschaften besitzen.

In dieser Abhandlung wird eine Methode zur Teilchenmanipulation eingesetzt, welche basierend auf dynamischen, elektrischen Feldern eine interessante Alternative zu konventionellen Verfahren bietet. Diese Technik erlaubt eine hohe prozessbezogene Einbindungsflexibilität, gestattet eine einfache Anpassung an mannigfaltige Umgebungen und bietet eine Grundlage für künftige Automatisierung. Die gegenwärtige Ar-

beit widmet sich der Realisierung mehrerer Teilchen-Mikromanipulationssystemen, welche die Fortbewegung von feinen teilchenartigen Objekten mittels elektrischer Felder nutzt. Die dynamischen Felder funktionieren als kontaktlose Teilchenförderer, die unmittelbar Antriebskräfte auf geladene Teilchen erzeugen. Um solche Systeme zu realisieren, sind die verschiedenen Notwendigkeiten für den Teilchentransport und die Teilchenmanipulation vorgestellt und in Design- und Fabrikationsbeispielen von drei komplett andersartigen, aufgabenspezifischen *Mikroförderern* (neu eingeführte Terminologie für *elektrisches Gerät zur Teilchenmanipulation*) dargelegt. Das *elektrische Plattengerät* gestattet auf seiner Oberfläche eine Vielzahl von Teilchenmanipulationsmustern, wie kollektiven Transport, Anhäufen, Zerstreuen und Sortieren von Teilchen. Das *elektrische Röhrengerät* dient als Instrument für reinen Massentransport von Teilchen, der von einem Startgefäß ausgeht und zu einem Zielbehälter führt. Das *elektrische Punktegerät* erlaubt hingegen durch seine Elektrodenmatrix beides, individuelle und kollektive Mikromanipulation von Teilchen.

Der zugrundeliegende physikalische Effekt kann wie folgt beschrieben werden: Wandernde, elektrische Feldwellen werden um äquidistante, linienförmige Elektroden durch das Anlegen von zeitlich-variierenden, polyphasigen Hochspannungen mit einer Amplitude von < 1 kV generiert. Das erzeugte elektrische Feld (< 57 kV/cm bei < 100 Hz) ändert sich ebenfalls zeitlich und schreitet synchron mit der angelegten Spannungsphase voran. Über den Elektroden auf einem dünnen Film isoliert gehaltene Teilchen werden durch Reibungselektrizität, wenn sie nicht-leitend sind, oder durch Induktion, wenn sie leitend sind, bei Aktivierung der Elektroden geladen. Die dynamischen Kräfte des elektrischen Feldes wirken gegen die Adhäsions- und die Schwerkkräfte der geladenen Teilchen und bewegen sie in einer Ebene normal zu den Elektroden schrittweise von Elektrode zu Elektrode mit der Geschwindigkeit der voranschreitenden Feldwelle fort.

Realitätsnah dimensionierte und skalierte Simulationen des elektrischen Potentials auf den aktivierten Mikroförderern sind erfolgreich durch analoge Ladungsverteilungsmessungen im Vakuum (bei 1.0 Pa) eines modifizierten *Scanning Electron Microscope* bestätigt worden. In Luft und in flüssigem Medium sind die Teilchendynamik und Trajektorien, die die Leistungsfähigkeit einer ruhigen Teilchenbeförderung unter Beweis stellen, direkt mit einer Hochgeschwindigkeitskamera (Bilderrate

bei 4.5 kHz) erfasst worden. Unerlässlich für die Mikromanipulation sind neue Methoden, die einerseits *geführte Teilchenbeförderung* und andererseits speziell generierte Profilkurven von Phasenspannungen involvieren, die beide besonders ruhigen Teilchentransport produzieren. Weiter ist die Transportleistungsfähigkeit, die von den physikalischen Teilcheneigenschaften abhängt, durch Experimente an einer Auswahl (< 80) von leitenden und nicht-leitenden, heterogenen Teilchensubstanzen untersucht worden.

Da diese Multi-Umgebungsmikroförderer keine sich bewegenden Maschinenteile aufweisen, kann die Anwendung des elektrischen Feldes den gesamten Energieverbrauch reduzieren. Zusätzlich sind der Erweiterung der Teilchenmanipulationsfläche praktisch keine Grenzen gesetzt. Es wird erwartet, daß die Methode der AC elektrischen Felder zusammen mit den entwickelten Mikroförderern, die in dieser Abhandlung beschrieben sind, zu neuen Anwendungen in verschiedenen Gebieten wie Teilchenzuführer und Manipulatoren für mikroelektromechanische Systeme (MEMS) führen wird. Im hohen Frequenzbereich der angelegten Spannungen (> 1 MHz) versprechen diese kontaktlosen Fördertechniken der präzisen und effizienten Manipulation biologischer Teilchen beizutragen, die in biomedizinischer Forschung und Entwicklung gebraucht werden.