

Entwicklung von piezoelektrischen Positionierelementen und deren Validierung mit einem Transmissions-Elektronenmikroskop

ABHANDLUNG

Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Daniel Guy Baumann

Dipl. Masch.-Ing. ETH

geboren am 10. Juni 1964

von Bern

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. Markus Meier, Referent

Dr. Martin Müller, Korreferent

1999

Kurzfassung

In der vorliegenden Abhandlung werden neue Positionierelemente (Lagerungen und Führungen mit integrierten piezoelektrischen Aktoren) vorgestellt, welche sowohl herkömmliche Positionieraufgaben mit hohen Präzisionsanforderungen als auch die der Mikro- und Nanotechnik erfüllen. Aufbauend auf diesen Positionierelementen wurde ein neues Probenpositioniersystem, namentlich ein euzentrisches Goniometer, für Transmissions-Elektronenmikroskope (TEM) im Hinblick auf die Methode der Elektronentomographie (ET) entwickelt. Diese Methode verlangt vom TEM und vom Goniometer höchste mechanische Stabilität (d.h. eine stabile euzentrische Kippachse und minimale Drift und Störungsempfindlichkeit). Das TEM besitzt innerhalb heutiger Elektronenmikroskope das grösste Auflösungsvermögen (ca. 0.3nm) und ist ein empfindliches und deshalb geeignetes Instrument zur Validierung und Charakterisierung von hochpräzisen Positioniermechanismen.

Zu Beginn dieser Abhandlung werden Konstruktions- (u.a. das Prinzip des statisch bestimmten Lagerns und Führens), Positionier- (u.a. das Schritt-Prinzip) und Aktorprinzipien (u.a. das Prinzip der Geometrieänderung) postuliert. Diese Prinzipien wurden bei der Entwicklung der hier vorgestellten Positionierelemente (NAJO I–III) konsequent angewendet. Zur Beschreibung der Eigenschaften und des Positionierverhaltens dieser Positionierelemente werden mechanische Modelle formuliert und mittels Messungen verifiziert.

Im nächsten Schritt wird auf die Euzentrizität und auf die Problemstellung idealer euzentrischer Goniometer eingegangen. Gleichzeitig wird ein neues Konstruktionskonzept für euzentrische Goniometer vorgeschlagen und konstruktiv umgesetzt.

Schliesslich wird gezeigt, dass das vorgestellte euzentrische Goniometer zwei wichtige Anforderungen der hochauflösenden Elektronenmikroskopie und der ET (hohe Stabilität und euzentrisches Kippen) in der Praxis erfüllt. Auf diese Weise wird deutlich gemacht, dass das euzentrische Goniometer bzw. die in dieser Abhandlung entwickelten Positionierelemente auch für weitere hochpräzise Positionieraufgaben in der Mikro- und Nanotechnik Anwendung finden können.

Abstract

In this thesis new positioning elements (bearings and linear guides with integrated piezoelectric actuators) that are suitable for both conventional positioning tasks with high precision requirements and those of micro- and nano-technologies are presented. From these positioning elements a new sample positioning system, namely an eucentric goniometer for a transmission electron microscope (TEM), was developed for use in electron tomography (ET). This method requires extremely high mechanical stability of the TEM and of the goniometer (that is, a stable eucentric tilting axis and minimal drift and disturbance sensitivity). The TEM has the highest resolving power (approx. 0.3nm) of the currently available electron microscopes and is a sensitive and therefore suitable instrument for validating and characterizing positioning mechanisms.

At the beginning of this thesis, construction (among other things the principle of static determined bearings and linear guides), positioning (among other things the step principle), and actuator principles (among other things the principle of geometry modification) are postulated. These principles were consistently applied to the development of the positioning elements presented here, NAJO I - III. For the description of the characteristics and the positioning behavior of these positioning elements mechanical models are formulated and verified by means of measurements.

In the next step the eucentricity and the problematic nature of ideal eucentric goniometers is discussed. At the same time, a new design concept for eucentric goniometers is proposed and realized.

Finally, it is shown that the presented eucentric goniometer fulfills two important requirements of high-resolution electron microscopy and ET (high stability and eucentric tilting) in practice. This means that the eucentric goniometer and the positioning elements developed in this thesis could also be used for further highly precise positioning tasks in micro and nano-technologies.